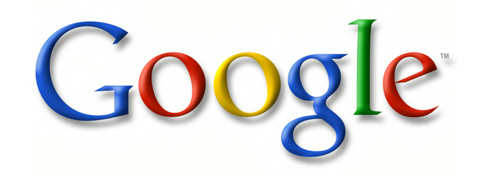


OSTWALD'S KLASSIKER
EXAKTEN WISSENSCHAFTEN.

Nr. 147.



BEITRAG

ZUR

PHYSIOLOGISCHEN OPTIK

VON

JOHANN BENEDIKT LISTING

WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

Ankündigung.

Der großartige Aufschwung, den die Naturwissenschaften i unsrer Zeit erfahren haben, ist, wie allgemein anerkannt wird, nich zum kleinsten Teile durch Ausbildung und Verbreitung der Unterrichtsmittel, der Experimentalvorlesungen, Laboratorienarbeite u. a. bedingt. Während durch die vorhandenen Einrichtungen zwa die Kenntnis des gegenwärtigen Inhaltes der Wissenschaft auf da erfolgreichste vermittelt wird, haben hochstehende und weitblickend Männer wiederholt auf einen Mangel der gegenwärtigen wissenschaf ichen Ausbildung jüngerer Kräfte hinweisen müssen. Es ist die das Fehlen historischen Sinnes und der Mangel a Kenntnis jener großen Arbeiten, auf denen das Ge bäude der Wissenschaft ruht.

Diesem Mangel soll durch die Herausgabe der

Klassiker der exakten Wissenschaften

abgeholfen werden. In handlicher Form und zu billigem Preise solle die grundlegenden Abhandlungen der gesamten exakten Wisser schaften den Kreisen der Lehrenden und Lernenden zugänglich g macht werden. Es soll dadurch ein Unterrichtsmittel beschaf werden, das ein Eindringen in die Wissenschaft gleichzeitig b lebt und vertieft. Es ist aber auch ein Forschungsmittel vo großer Bedeutung. Denn in jenen grundlegenden Schriften ruhte nicht nur die Keime, die inzwischen sich entwickelt und Früch getragen haben, sondern es ruhen in ihnen noch zahllose and Keime, die noch der Entwicklung harren. Dem in der Wissenscha Arbeitenden und Forschenden bilden jene Schriften eine unerschöp liche Fundgrube von Anregungen und fördernden Gedanken.

Die Klassiker der exakten Wissenschaften sollen d rationellen Naturwissenschaften, von der Mathematik bis zur Physi logie umfassen und werden Abhandlungen aus den Gebieten d Mathematik, Astronomie, Physik, Chemie (einschließlic Kristallkunde), Botanik und Physiologie enthalten.

Die allgemeine Redaktion führt Professor Dr. Arthur vo Oettingen (Leipzig); die einzelnen Ausgaben werden durch hervo ragende Vertreter der betreffenden Wissenschaften besorgt. D Leitung der einzelnen Abteilungen übernahmen: für Astronomie Pro Dr. Bruns (Leipzig), für [redacted]erin (Halle für Kristallkunde Prof. Dr. [redacted]enphysiolog Prof. Dr. W. Pfeffer (L[redacted]. R. Abeg (Breslau), für Physik Prof. [redacted]zig).

Es sind bis jetzt erschienen aus dem Gebiete der

Physiologie:

1. **H. Helmholtz,** Erhalt. der Kraft. (1847.) 6. Taus. (60 S.) ℳ —.80.
6. **E. H. Weber,** Anwend. d. Wellenlehre auf die Lehre v. Kreislauf d. Blutes usw. (1850.) Hrsg. v. M. v. Frey. Mit 1 Taf. (46 S.) ℳ 1.—.
18. **C. Ludwig, E. Becher** u. **C. Rahn,** Absond. des Speichels. (1851.) Herausg. von M. v. Frey. Mit 6 Textfiguren. (43 S.) ℳ —.75.
20. **Christiaan Huygens,** Abhandl. über das Licht. (1678.) Herausg. von E. Lommel. 2. Aufl., durchgesehen und berichtigt von A. v. Oettingen. Mit 57 Textfig. (115 S.) ℳ 2.—.
26. **Justus Liebig,** Über die Constitution der organ. Säuren. (1838). Herausg. von Herm. Kopp. (86 S.) ℳ 1.40.
28. **L. Pasteur,** Über die Asymmetrie bei natürlich vorkommenden organischen Verbindungen. (1860.) Übersetzt und herausgegeben von M. u. A. Ladenburg. (36 S.) ℳ —.60.
39. —— Die in der Atmosphäre vorhandenen organisirten Körperchen. Prüf. der Lehre von der Urzeugung. (1862.) Übers. v. A. Wieler. Mit 2 Tafeln. (98 S.) ℳ 1.80.
43. **Ernst Brücke,** Farbenwechsel des afrikan. Chamäleons. (1851 und 1852.) Herausg. von M. v. Frey. Mit 1 Taf. (64 S.) ℳ 1.20.
52. **Aloisius Galvani,** Kräfte d. Elek. bei d. Muskelbeweg. (1791.) Hrsg. von A. v. Oettingen. Mit 21 Fig. auf 4 Taf. (76 S.) ℳ 1.40.
57. **Fahrenheit, Réaumur, Celsius,** Thermometrie. (1724, 1730—1733, 1742.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 17 Textfiguren. (140 S.) ℳ 2.40.
84. **Caspar Friedrich Wolffs** Theoria generationis. (1759.) I. Theil. (Entwicklung der Pflanzen.) Übersetzt u. herausgegeben von Paul Samassa. Mit 1 Tafel. (96 S.) ℳ 1.20.
85. —— —— (1759). II. Theil. (Entwickl. d. Thiere. Allgemeines.) Übers. u. herausgeg. v. Paul Samassa. Mit 1 Taf. (98 S.) ℳ 1.20.
92. **H. Kolbe,** Über den natürlichen Zusammenhang der organischen mit den unorganischen Verbindungen, die wissenschaftl. Grundlage zu einer naturgemäßen Classification d. organisch. chemischen Körper. (1859.) Herausgeg. von Ernst von Meyer. (42 S.) ℳ —.70.
94. **E. Mitscherlich,** Über das Verhältnis zwischen der chemischen Zusammensetz. u. der Krystallform arseniksaurer u. phosphorsaurer Salze. (1821.) Herausg. v. P. Groth. Mit 35 Textfiguren. (59 S.) ℳ 1.—.
95. **Ernst v. Brücke,** Pflanzenphysiologische Abhandlungen. I. Bluten des Rebstockes. II. Bewegungen d. Mimosa pudica. III. Elementarorganismen. IV. Brennhaare von Urtica. (1844—1862.) Herausgeg. von A. Fischer. Mit 9 Textfiguren. (86 S.) ℳ 1.40.
114. **Alessandro Volta,** Briefe über thierische Elektricität. (1792.) Herausgeg. von A. v. Oettingen. (162 S.) ℳ 2.50.
118. —— Untersuch. über den Galvanismus. (1796—1800.) Herausgeg. von A. von Oettingen. (99 S.) ℳ 1.60.
144. **Johannes Kepler,** Dioptrik. (Augsburg. 1611.) Übers. u. herausg. von F. Plehn. Mit 43 Textfiguren. (114 S.) ℳ 2.—.
147. **Johann Benedikt Listing,** Beitrag z. physiolog. Optik. Herausgeg. v. Prof. Dr. Otto Schwarz. Mit einem Bildnis und 2 lith. Tafeln. (52 S.) ℳ 1.40.
148. **Ewald Hering,** Über das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organ. Materie. Vortrag, geh. in der feierl. Sitzung der Kaiserl. Akad. d. Wissenschaften in Wien am 30. Mai 1870. (21 S.) ℳ —.60.
149. **Ernst Heinrich Weber,** Tastsinn u. Gemeingefühl. Herausgeg. v. Ewald Hering. Mit d. Bildn. v. E. H. Weber. (156 S.) ℳ 2.40.


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA



J. B. Lisking

Beitrag zur
physiologischen Optik

von

Johann Benedikt Listing

Herausgegeben von

Prof. Dr. Otto Schwarz
Leipzig



Mit einem Bildnis und zwei Tafeln

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1905





[3] Beitrag zur physiologischen Optik.

Von

Johann Benedikt Listing.

Wenige Zweige der Physiologie haben sich dermalen so reicher Fortschritte durch die Unterstützung von seiten der Physik zu rühmen, als die Lehre vom Gesichtsorgan und dessen Funktionen, und diese Begünstigung muß um so größer erscheinen, je weniger gleichzeitig unsere Kenntnisse in der Physiologie der übrigen Sinnesorgane erweitert worden sind. Die Hilfe, welche der Physiologie bei Erforschung des Tast-, des Geschmack- und des Geruchsinnes von der Physik geleistet worden, ist zur Zeit noch sehr gering. Stoß, Druck, Volumens- und Dichtigkeitsänderung, Elastizität, Reibung, Adhäsion, Kapillarität, Absorption, Endosmose, Aggregatwechsel, Änderungen der Temperatur und Wärmekapazität, Spannung und Strom der Elektrizität sind physikalische Vorgänge, welche neben den chemischen Aktionen erst künftig auf dem genannten Gebiete der organischen Naturlehre wesentliche Berücksichtigung erfahren [4] müssen. Gleichermaßen ist der Dienst, den die Mechanik und die Akustik der Lehre vom Gehör geleistet haben, noch lange nicht zu einer Theorie der Funktionen des Ohres hinreichend. Ganz anders in der Physiologie des Auges. Hier ist die Brücke zwischen der organischen und der unorganischen Naturlehre schon seit geraumer Zeit gebaut, die anatomische und physikalische Untersuchung der Bestandteile des Organs hat vielfach zu sicheren Interpretationen geführt und dadurch der Methode der messenden Naturwissenschaft ein unbestrittenes Feld eingeräumt. Man wird zwar dies Mißverhältnis weniger befremdend finden bei richtiger Erwägung der Anlässe, durch welche bei den verschiedenen Sinnesorganen eine physikalische Methode in den Forschungen bedingt wird. Offenbar darf in dieser Hinsicht eigentlich nur von einer Vergleichung zwischen Gehör und Gesicht die Rede sein, bei welchen die

der Nervenaffektion vorangehenden Umänderungen der von der Außenwelt aufgenommenen Agenzien auf physikalischen Vorgängen ebenso beruhen, wie die Vorbereitung der Nahrungsmittel zum Behuf der Assimilation auf mechanischen und chemischen Einwirkungen, während bei den übrigen drei Sinnesverrichtungen ein ähnliches Stadium physikalischer Metamorphose nicht deutlich ausgeprägt ist. Unverkennbar aber beruht die große Ungleichheit in der physikalischen Ausbildung der Lehre vom Auge und Ohre sowohl auf der ungleichen Summe gewonnener anatomischer und physiologischer Tatsachen, als auf dem verschiedenen Grade der Vervollkommnung der betreffenden physikalischen Theorien. Von empirischer Seite betrachtet, scheint dies Verhältnis weniger auf dem größeren Interesse zu beruhen, welches das edelste Sinneswerkzeug im menschlichen und tierischen Organismus allerdings für sich in Anspruch nehmen könnte, als vielmehr auf den objektiven Schwierigkeiten, die mit Beobachtungen und Messungen der Gehörsfunktionen verknüpft sind. Während im Auge die optische und mechanische Be[5]deutung der meisten Bestandteile festgestellt ist, und der ganze Bau dieses Instrumentes eine experimentelle Behandlung sowohl im Leben als im Tode in hohem Maße begünstigt, läßt uns das Ohr über die Verrichtungen selbst der wesentlichsten Glieder des Apparates noch vielfach im Dunkel. Ebenso steht jenes Verhältnis mit dem gegenwärtigen Stande der Theorie in genauem Zusammenhang. Hätte die Natur nach der lediglichen Analogie zwischen den Vibrationen des Äthers und denen der ponderabeln Medien zwei ganz korrelate Sinnesorgane schaffen wollen, so müßten die Dimensionen des Ohres die des Auges etwa millionenmal übertreffen, und der akustische Apparat hätte neben dem zollgroßen Auge die abenteuerliche Größe von fast zwanzig Kubikmeilen erhalten müssen. Wir werden apagogisch zur Anerkennung eines wesentlichen, qualitativen Unterschiedes im Bau und Zweck der beiden Organe hingeführt. In der Tat scheint außer der gemeinschaftlichen Fertigkeit die Wellenfrequenz aufs Bestimmteste zu unterscheiden, das Ohr allein für den Geschwindigkeitswechsel innerhalb jeder einzelnen der sukzessiven Wellen, das Auge allein für die Raumverhältnisse vieler gleichzeitig aufgenommenen Wellensysteme ein Unterscheidungsvermögen zu besitzen, und man könnte nicht unpassend das Ohr ein chronometrisches, das Auge ein geometrisches Werkzeug nennen. Die theoretische Optik aber in ihrem jetzigen Zustande läßt hin-

sichtlich ihrer Anwendbarkeit auf die Untersuchung der Augenfunktionen fast nichts mehr zu wünschen übrig: in der Akustik muß für den Teil der Theorie, welcher künftig eine ganz unumgängliche Basis für eine Hauptklasse der Verrichtungen des Gehöres zu bilden bestimmt scheint, nämlich die Ermittlung der Geschwindigkeitsänderungen innerhalb einer Welle oder der sogenannten Wellenform, selbst der Beginn erst von der Zukunft erwartet werden.

So sehr nun in diesen wenigen Andeutungen, deren weitere Ausführung einer andern Gelegenheit vorbehalten [6] bleiben muß, auf den Vorteil aufmerksam zu machen versucht worden, welchen die Physiologie des Auges gegenüber unserer Kenntnis der andern Sinnesorgane und insonderheit des Gehöres dermalen gewonnen hat, sowenig hat dadurch zu der Meinung verleitet werden sollen, als wenn in der Ophthalmologie die gemachten Fortschritte nur eine geringe Zahl von Fragen noch unbeantwortet gelassen hätten. Abgesehen von dem bei allen Sinnesverrichtungen obschwebenden allgemeinen Problem der spezifischen Nervenaktionen, steht in der Naturlehre des Auges für die experimentelle Untersuchung noch ein weites Feld offen, mag sie sich auf die Feststellung neuer Arten von Erscheinungen, zu denen die gegenwärtige Mitteilung ein Beispiel zu liefern bestimmt ist, oder auf die vollständige Erklärung von Tatsachen beziehen, welche, wie die Akkommodation, seit Jahrhunderten bekannt sind. Aber das oben besprochene günstigere Verhältnis zwischen Physik und Physiologie des Auges muß hier — und das bestätigt die Erfahrung der neueren Zeit — durch den leichteren Anschluß an die Theorie auf die Erweiterung unseres Wissens beschleunigend wirken.

1.

Es gibt bekanntlich solche Gesichtserscheinungen, bei welchen Teile des Auges selbst oder in ihm mehr oder weniger zufällig vorhandene Körper gewissermaßen als Objekte auftreten und wahrnehmbar werden. Hierher gehören die sogenannten Mouches volantes, die von *Mariotte* entdeckte blinde Stelle der Netzhaut am Eintrittsorte des Nervus opticus, die Aderfigur im *Purkinje*schen Versuch, und andere. Man hat sie bisher meist den subjektiven Gesichtserscheinungen beigezählt, während man sie füglicher zu den objektiven rechnen

könnte, insofern bei ihnen im Auge befindliche Objekte unter wesentlicher Vermittlung des von außen [7] einfallenden, die Netzhaut treffenden Lichtes gesehen werden. Es möchte indes nicht unzweckmäßig sein, diese Erscheinungen von den objektiven im engeren Sinne, wo das Objekt in geringer oder beträchtlicher Entfernung vor dem Auge befindlich ist, zu trennen und ihnen den Namen der entoptischen Gesichtserscheinungen beizulegen. Sie bilden aldann eine Art Übergangsgruppe zwischen den subjektiven und den eigentlich objektiven Perzeptionen des Auges. Die hier mitzuteilenden Beobachtungen beziehen sich auf eine neue Erscheinung dieser Art, und obgleich ihre Zahl noch sehr gering, ihr Detail sehr verschieden ist, so scheint doch schon so viel aus ihnen gefolgert werden zu dürfen, daß bei weitem in den meisten Augen die brechenden Mittel mit undurchsichtigen Stellen behaftet sind, welche rücksichtlich ihrer Gestalt und gegenseitigen Lage einen hohen Grad von Unveränderlichkeit besitzen und von jedem Auge leicht selbst, d. h. entoptisch wahrgenommen werden können.

2.

Zur Fixierung der Vorstellungen über den Gang der Lichtstrahlen im Auge sei es erlaubt, eine kurze dioptrische Betrachtung über das Auge voranzuschicken.

Der menschliche Sehapparat kann, für unseren gegenwärtigen Zweck hinreichend genau, einem System von drei verschieden stark brechenden Mitteln verglichen werden, welche durch sphärische Flächen getrennt sind, deren Krümmungsmittelpunkte auf einer geraden Linie, der Augenachse, liegen. In Fig. 1 stelle AL diese optische Achse des Auges und A, B, C die Durchschnittspunte der drei Grenzflächen vor; ferner L den Ort der vom durchgelassenen Licht getroffenen, gegen die Achse normal gerichteten Nervenhaut, und II' das von der Iris gebildete Diaphragma, versehen mit nahezu kreisförmiger, gegen die Achse konzentrisch gelegener Öffnung, der Pupille. Die drei Flächen A, B, C sind der Ordnung nach (jede von der Seite des im Sinne von A nach [8] L einfallenden Lichtes betrachtet) konvex, konvex, konkav. Die Fläche A trennt das erste Mittel von der angrenzenden atmosphärischen Luft und wird von der Vorderfläche der Hornhaut gebildet, die zweite B stellt die vordere und die dritte C die hintere Oberfläche der Linsenkapsel dar. Das erste Mittel zwischen

A und *B* wird gebildet von der wässerigen Feuchtigkeit nebst der Hornhaut, das zweite zwischen *B* und *C* von der Kristalllinse samt ihrer Kapsel, und das Dritte zwischen *C* und *L* von der Glasfeuchtigkeit. Die Brechungsindizes liegen zwischen denen des Wassers und des Glases. Der kleinste gehört dem ersten, der größte dem zweiten Medium an, der dritte ist nur unbedeutend größer als der erste.

In einem für paralleles Licht eingerichteten Auge werden alle in der Richtung der Achse von einem sehr weit entlegenen Punkte einfallende Strahlen nach dreimaliger Refraktion im Punkte *L* vereinigt. Dieser in der Macula lutea liegende Punkt der Netzhaut, wo dieselbe mit der intensivsten Perzeptionskraft ausgerüstet ist, und wohin wir beim direkten Sehen durch angemessene Bewegungen des Auges das Bild des zu fixierenden Objektes bringen, ist also bei dem erwähnten Adaptionszustande[1]) der nach hinten gelegene Brennpunkt des Systemes der drei brechenden Mittel. Der andere, etwa um den halben Durchmesser des Augapfels vor der Hornhaut liegende Brennpunkt F^0 ist der Ort, in welchem sich parallel zur Achse im Glaskörper von *L* nach *C* strahlendes Licht, nach den sukzessiven Brechungen an den Trennungsflächen *C*, *B*, *A*, vereinigen würde. Lichtstrahlen, von ihm aus ins Auge fallend, werden somit unter sich und mit der Achse parallel den Glaskörper durchdringen. Im kurzsichtigen und in dem für näher gelegene Objekte akkommodierten Auge haben diese beiden Brennpunkte eine etwas andere Lage. Der vordere liegt dem Auge näher, der hintere fällt merklich vor die Netzhaut. Bei einem weitsichtigen Auge, welches nur durch eine Sammellinse die Fix[9]sterne als leuchtende Punkte wahrnimmt, steht der vordere Brennpunkt etwas weiter vom Auge ab, der hintere fällt hinter die Retina. Während der durch Adaption bewirkten inneren, ihrem Mechanismus nach noch nicht vollständig bekannten Veränderungen des Auges bewegen sich die beiden Brennpunkte in entgegengesetztem Sinne. Beim Nahesehen rücken beide der Hornhaut näher, beim Fernesehen entfernen sich beide von ihr.

Legen wir, gleichviel bei welchen der verschiedenen Adaptionszustände des Auges, durch jeden der beiden Brennpunkte eine Ebene normal zur Achse, so erhalten wir zwei Brennpunkts- oder Fokalebenen, eine vordere und eine hintere. Von der sphärischen Aberration abgesehen oder nur solche Strahlen in Betracht gezogen, deren Neigung gegen die Achse nur gering ist, werden überhaupt parallel unter sich ins Auge

fallende Lichtstrahlen im Glaskörper konvergierend ausfahren und sich in einem bestimmten Punkte der hinteren Fokalebene vereinigen, und umgekehrt solche Strahlen, welche von einem bestimmten Punkte der vorderen Fokalebene aus ins Auge fallen, nach erlittener dreifacher Brechung sich im Glaskörper untereinander parallel gegen die Netzhaut bewegen.

Bei einem System von brechenden Mitteln, wo sich das einfallende und das ausfahrende Licht in Körpern von verschiedenem Brechungsindex bewegt, wie dies bei dem Auge der Fall ist, wo die aus der atmosphärischen Luft kommenden Strahlen zuletzt in den Glaskörper gelangen, kommen außer den beiden Brennpunkten und ihren Ebenen noch vier andere Punkte in Betracht, durch welche die Regeln für die Konstruktion der Wege und Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen vor und nach der mehrfachen Brechung sehr vereinfacht werden. Erstlich befinden sich zwischen den beiden Brennpunkten auf der Achse zwei Punkte, denen wir mit *Gauß* *) den Namen der Hauptpunkte, ihren Ebenen, [10] wie bei den Brennpunkten durch sie normal zur Achse gelegt, den Namen der Hauptebenen beilegen. Diese Punkte liegen im Auge in der vorderen Augenkammer, also zwischen der ersten und zweiten Trennungsfläche. Sie stehen beide, während ihre gegenseitige Entfernung wenige Zehnteile eines Millimeters beträgt, dem vorderen Brennpunkt näher als dem hinteren, von jenem etwa $\frac{2}{5}$, von diesem fast $\frac{7}{8}$ des Augendurchmessers in einem für paralleles Licht akkommodierten Auge entfernt. Sodann liegen zwei andere Punkte auf der Achse des Auges hinter den beiden Hauptpunkten, welche die Knotenpunkte der Richtungslinien heißen mögen **). Ihr Abstand voneinander ist stets dem der Hauptpunkte, die Entfernung des hinteren Knotenpunktes von dem hinteren Brennpunkt immer der zwischen dem vorderen Hauptpunkt und dem vorderen Brennpunkt gleich. Die beiden Knotenpunkte fallen ganz in die Nähe der Hinterfläche der Kristallinse, wahrscheinlich häufiger vor als hinter dieselbe. Fig. 2 stellt die gegenseitige Lage der drei verschiedenen Paare von Punkten dar: F^o ist der vordere, F der hintere Brennpunkt, E^o der vordere, E der hintere Haupt-

*) Dioptrische Untersuchungen S. 13.

**) Die beiden Punkte, welche *Moser* (Repertorium der Physik, Bd, V, S. 372) ersten und zweiten Hauptpunkt des Auges nennt, sind von den durch *Gauß* eingeführten Hauptpunkten wesentlich verschieden und mit den hier sogen. Knotenpunkten identisch.

punkt, K^0 der vordere, K der hintere Knotenpunkt, und es ist jederzeit $E^0E = K^0K$ und $F^0E^0 = KF$. Wie die Brennpunkte, so ändern auch die Haupt- und die Knotenpunkte bei den Adaptionsänderungen des Auges ihre Plätze, nur in geringerem Maße. Ein Metallstab zwischen F^0 und F, der die sämtlichen sechs Punkte untereinander verbindet und, in der Gegend, wo er die erste Trennungsfläche durchdringt (etwa 2 mm vor E^0) festgehalten, durch Temperaturänderung sich in allen Teilen verlängert oder verkürzt, könnte zur Versinnlichung der Verschiebungen dienen, wel[11]che die verbundenen Punkte gleichzeitig bei den Änderungen des Refraktionszustandes im Auge erleiden. Ob dieser Stab (in demselben Bilde zu reden) aus einem oder, unbeschadet der erforderlichen Symmetrie der beiden Hälften, streckenweise aus verschiedenen Metallen bestehend gedacht werden müßte, kann freilich, solange die Adaptionselemente nicht genau bekannt sind, nicht näher angegeben werden. Vorläufig kann man sich damit begnügen, die Verschiebung jedes der sechs Punkte seiner Entfernung von der Vorderfläche der Hornhaut proportional zu setzen.

3.

Die Anwendung und Bedeutung der verschiedenen bisher besprochenen Punkte und Ebenen springt nun aus nachstehenden Konstruktionen von selbst hervor.

Es sei in Fig. 3 ein ins Auge fallender Strahl von beliebiger Lage gegeben (der selbst — was in der Zeichnung nicht näher angedeutet wird — so liegen kann, daß er mit der Achse nicht in einer Ebene enthalten ist), so findet man die Lage des Strahles im Glaskörper auf folgende Art. Der einfallende Strahl treffe die vordere Brennpunktsebene im Punkt (1), die vordere Hauptebene im Punkt (2), eine Parallele mit der Achse durch (2) treffe die hintere Hauptebene in (3), und eine Parallele mit (1)(2) durch den hinteren Knotenpunkt schneide die hintere Brennpunktsebene in (4); so gibt (3)(4) die Lage des Strahles im Glaskörper. Ohne Zuziehung eines Knotenpunktes würde man den Punkt (4) auch durch die Linien F^0 (5) und (5)(4) finden, die erste parallel zum einfallenden Strahl (1)(2), die zweite parallel zur Achse ziehend.

Wäre ein Strahl gegeben, der über (2) hinaus verlängert durch K^0 ginge, so würde er nach erlittenen Brechungen mit der Linie K(4) zusammenfallen, d. h. einem auf den vorderen

Knotenpunkt zielenden einfallenden Strahl ge[12]hört ein ihm paralleler ausfahrender Strahl zu, der auf den hinteren Knotenpunkt zielt, oder ein nach dem vorderen Knotenpunkt gerichteter Strahl bewegt sich im Glaskörper in derselben Richtung und erscheint bloß um die Distanz der Knotenpunkte längs der Achse verschoben. Ein solcher Strahl verhält sich also, wie wenn er durch ein Planglas (mit parallelen, zur Achse normal liegenden Seiten) gegangen wäre. Nennen wir erste Richtungslinie diejenige gerade Linie, welche einen vor dem Auge in beliebiger Entfernung liegenden Objektpunkt mit dem vorderen Knotenpunkt verbindet, zweite Richtungslinie eine durch den hinteren Knotenpunkt gehende, mit der ersten Richtungslinie parallele Linie, so läßt sich das eben Gesagte so ausdrücken: ein längs der ersten Richtungslinie einfallender Strahl geht nach der Brechung längs der zweiten Richtungslinie. Diesen Fall erläutert Fig. 4, wo DK^0 die erste, KD' die zweite Richtungslinie vorstellt.

Für ein System parallel einfallender Strahlen ist der Punkt (4) Fig. 3 gemeinschaftlich, und in ihm müssen sich alle Strahlen nach der Brechung vereinigen. Das Bild liegt auf dem Durchschnittspunkt der zweiten Richtungslinie mit der hinteren Fokalebene. Ist das Auge für paralleles Licht adaptiert, so sieht es einen unendlich fern liegenden leuchtenden Punkt deutlich, und das Bild liegt auf der Netzhaut da, wohin auf ihr die zweite Richtungslinie trifft. Dieser Fall ist in Fig. 5 dargestellt, wo die parallelen Strahlen A, A', A'', A''' nach der Brechung im Punkt B der hinteren Fokalebene konvergieren. DK^0 und KD' sind, wie in der vorigen Figur, die Richtungslinien.

Für ein System einfallender Strahlen, die von einem Punkte der vorderen Fokalebene ausgehen, sind alle ausfahrenden Strahlen im Glaskörper untereinander und mit den beiden Richtungslinien parallel. In Fig. 6 ist P der leuchtende Punkt, DK^0 die erste und KD' die zweite Richtungslinie. Die ausfahrenden Strahlen Q, Q', Q'' usw. sind [13] sämtlich mit den letzteren parallel; ihre auf dem hinteren Hauptplanum gelegenen Anfangspunkte werden, wie der Punkt (3) in Fig. 3, nach der oben erörterten Regel bestimmt. Der hierher gehörige spezielle Fall, wo P mit F^0 zusammenfällt, und die Strahlen im Glaskörper mit der Achse parallel gehen, bedarf keiner besonderen Auseinandersetzung.

Liegt der leuchtende Punkt in endlicher Entfernung vor der vorderen Fokalebene (Fig. 7), so konvergieren die ausfahrenden Strahlen gegen einen hinter der hinteren Fokalebene liegenden

Punkt der zweiten Richtungslinie, den man findet, wenn man die oben an Fig. 3 erörterte Konstruktion auf einen mit der ersten Richtungslinie PK^0 nicht parallelen einfallenden Strahl anwendet. Liegt die Lichtquelle außer der Augenachse, so verbinde man P mit F^0 durch eine gerade Linie, verlängere sie bis zur vorderen Hauptebene nach (5) und ziehe parallel zur Achse durch (5) eine gerade Linie, so ist der Durchschnittspunkt P' dieser letzteren mit der zweiten Richtungslinie das reelle Bild*) von P. Liegt aber der strahlende Punkt in der Augenachse, so ziehe man (Fig. 8) einen zur Achse geneigten Strahl P' (2), bestimme nach der in Fig. 3 gegebenen Vorschrift den ausfahrenden Strahl (3)(4), so wird der Durchschnitt P desselben mit der Achse, mit welcher nunmehr beide Richtungslinien zusammenfallen, das gesuchte Bild sein. Ist FP' die größte Entfernung, in welche durch Akkommodation die hintere Brennpunktsebene vor die Retina versetzt werden kann, so ist die Entfernung des Punktes P vom Auge die kleinste, in der das Auge deutlich zu sehen vermag. Bei geringerer Entfer[14]nung des Punktes P fällt also für jeden möglichen Refraktionszustand des Auges das Bild hinter die Netzhaut, und der Punkt P hört auf, deutlich zu erscheinen. Eine solche Grenze für die Annäherung des Punktes P während des deutlichen Sehens findet für jedes Auge statt. Sie scheint auch bei sehr kurzsichtigen Augen nicht unter 5 cm (bis zur Vorderfläche der Cornea gerechnet) zu betragen**). Wäre FP' die kleinste Entfernung, in welche ein kurzsichtiges Auge durch Adaption den hinteren Brennpunkt vor die Netzhaut zu versetzen vermag, so wäre die Entfernung des Objektes P vom Auge die größte, bei der das Auge noch deutlich sieht. Es gibt, nach meinen Erfahrungen, kurzsichtige Augen von geringem Adaptionsumfang, wo dieses Maximum der Entfernung des Objektpunktes P von der Hornhaut nur $7\frac{1}{2}$ cm beträgt. Diese Grenze findet übrigens nur für kurzsichtige Augen statt.

---

*) Reell muß dieses Bild nach der Sprache der Optik selbst in dem Fall genannt werden, wenn die Retina vor P' liegt, und die Strahlen im Glaskörper gar nicht zur wirklichen Vereinigung kommen, — oder man dürfte nicht von reellen Bildern hinter der Objektivlinse im *Galilei*schen Fernrohr und vor dem Objektivspiegel im *Cassegrain*schen Teleskop reden.

**) Als ganz anomal ist der von *Hueck* (die Bewegung der Kristallinse, S. 7) angeführte Fall eines sog. mikroskopischen Auges zu betrachten, welches nur in dem Intervall von 8 bis 28 par. Linien deutlich sah.

Geht endlich (Fig. 9) von einem zwischen dem Auge und der vorderen Fokalebene befindlichen Punkt P Licht aus, so werden die Strahlen Q, Q', Q'' usw. im Glaskörper von einem auf der zweiten Richtungslinie KD' liegenden Punkt P' divergieren, welcher ein virtuelles Bild von P sein wird. Seine Bestimmung geschieht (wie die Figur von selbst erläutert) ganz auf die bei Fig. 7 erwähnte Art. Fig. 10 (analog der 8. Figur) stellt den hierhergehörigen Spezialfall dar, wo P in der Achse liegt.

4.

Unter Berücksichtigung dreier sukzessiven Brechungen im Auge geben die im vorigen Art. auseinandergesetzten Konstruktionen die genauen geometrischen Beziehungen zwischen [**15**] den einfallenden und den im Glaskörper verlaufenden Lichtstrahlen. Sie werden, wenn künftige Messungen die gegenseitigen Entfernungen der besprochenen optischen Punkte und ihre von der Akkommodation abhängigen Ortsveränderungen werden genauer*) kennen lehren, einen wesesentlichen Teil der Theorie des uniokularen Sehens bilden. Die ersten Richtungslinien, nach allen außer der Achse liegenden Punkten eines (ausgedehnten) Objektes gezogen, sind die Sehrichtungen für das indirekte Sehen[2]). Die scheinbare Lage der im Gesichtsfeld vorhandenen Objekte bei unveränderter Stellung der Augenachse ist diejenige, welche ein im vorderen Knotenpunkt befindliches Auge von unendlich kleinen Dimensionen beobachten würde, und in derselben Lage müßten die Netzhautbilder einem solchen Auge vom hinteren Knotenpunkt aus erscheinen, nur in Richtungen, welche um 180° von den Sehrichtungen verschieden sind. Führen wir beim direkten Sehen die Augenachse sukzessiv auf alle Objektspunkte, so ist der Standpunkt jenes unendlich kleinen Auges in dem von *Volkmann* bestimmten Drehungspunkt des Auges zu nehmen, welcher fast um $\frac{1}{5}$ des Augendurchmessers hinter dem hinteren Knotenpunkt gelegen ist. Die Visierlinie, eine gerade Linie vom Drehungspunkt des Auges nach dem Objekte gezogen, in welche beim direkten

*) Die oben eingestreuten Angaben dieser Art sollten nur zur beiläufigen Veranschaulichung dieser Verhältnisse dienen, was für den gegenwärtigen Zweck genügt. Ich werde bei einer anderen Gelegenheit versuchen, die numerischen Elemente, wie sie aus den bisherigen Erfahrungen folgen, in einem schematischen oder einem sog. »mittleren« Auge zu vereinigen.

Sehen, Visieren, die Achse des Auges während unverrückter Stellung der Augenhöhle durch die Muskeln versetzt werden muß[3]), ist also für ein indirekt gesehenes Objekt verschieden von der ersten Richtungslinie, und der Winkel zwischen beiden ist die Parallaxe zwischen der scheinbaren Lage der der Objekte bei direktem und in[16]direktem Sehen, bedingt durch die Exzentrizität des vorderen Knotenpunktes in seiner Stellung zu dem mechanischen Zentrum des Auges*).

5.

Für die meisten Fälle der Anwendung genügt die Vereinfachung in den Voraussetzungen, daß man das Auge als aus einem — homogenen und isophanen — brechenden Mittel bestehend denkt, und es ist nunmehr nach dem Vorhergehenden nicht schwer, die näheren Bestimmungen für diese Vereinfachung anzugeben. Man hat meistens ohne Änderung der Hornhautoberfläche die Linse aus dem Auge weggelassen und dem brechenden Medium einen so großen Brechungsindex beigelegt, als nötig ist, den hinteren Brennpunkt in die Nähe des gelben Fleckes der Netzhaut zu setzen, [17] einen Index, der größer ausfällt als der stärkste durch Beobachtung im Auge gefundene, nämlich des Kernes des Kristallinse, ja stärker als

*) Ihr Betrag in Bogenminuten ist gleich dem Verhältnis der Zahl 1719 zu der in Zentimentern ausgedrückten Entfernung des Objektes vom Auge, multipliziert mit dem Sinus der am Drehungspunkt gemessenen Elongation des indirekt gesehenen Objektes von der Augenachse. Für ein 25 cm vom Auge entferntes Objekt z. B. findet man bei folgenden Elongationen von der Achse:

bei	5°	Parall.	6,′0
»	10	»	11,9
»	15	»	17,8
»	20	»	23,5
»	25	»	29,1.

Sie ist Null für in der Achse befindliche Objekte in jeder Entfernung und für unendlich ferne Objekte in jeder Elongation. — Diese Parallaxe bezieht sich bloß auf Objekte im Horopter[4]) und ist wohl von der zu unterscheiden, wo bei der Drehung des Auges durch Versetzung der Pupille aus der ersten Richtungslinie eine Ablenkung des (undeutlichen) Bildes von der zweiten Richtungslinie jedes nicht im Horopter liegenden Objektes verursacht wird. Hiernach muß der von *Brewster* (Phil. Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh vol. XV. part. III pag. 351) angeführte Versuch und die daran geknüpfte Argumentation beurteilt werden.

derjenige, den man der ganzen als homogen betrachteten Linse beilegen muß. Bei dieser Übergangsweise behielt von unseren sechs optischen Punkten nur der hintere Fokus seinen vorigen Platz, die übrigen fünf mußten wesentliche Versetzungen erleiden. Liegt es nun in der Natur der hier einzuführenden Vereinfachung, daß sowohl die beiden Hauptpunkte als die beiden Knotenpunkte in je einem Punkt zusammenfallen, so muß in dioptrischer Hinsicht diejenige Übertragung naturgemäßer sein, wo die Ortsänderungen die möglich geringsten werden. Wir lassen also die Entfernung zwischen den beiden Brennpunkten ungeändert und vereinigen das Paar der Hauptpunkte und der Knotenpunkte jedes in einen einzigen mittleren Punkt. Die Versetzungen sind alsdann geringer als die bei den experimentellen Bestimmungen unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Der so entstehende Hauptpunkt behält gegen den vorderen Brennpunkt dieselbe Entfernung, wie der Knotenpunkt*) gegen den hinteren Brennpunkt. Auch die vier Punkte müssen durch die Adaption ähnliche Verschiebungen erleiden, wie die oben (Art. 2) erwähnten. Diesem Schema von vier Punkten enspricht ein brechendes Mittel, getrennt von der umgebenden atmosphärischen Luft durch eine sphärische konvexe Oberfläche, welche die Achse im Hauptpunkt schneidet, und deren Zentrum im Knotenpunkt liegt. Es seien in Fig. 11 F^0 und F, wie früher, die Brennpunkte, E der Hauptpunkt und K der Knotenpunkt, so mag in angenäherten runden Zahlen $F^0E = KF = 15$ [**18**] mm, $EK = 5$ mm gesetzt werden. Der Brechungsindex des Mediums (gleich dem Verhältnis der Entfernungen des Hauptpunktes von dem hinteren und vorderen Brennpunkt) wird also dem des Wassers gleich; die Krümmung der vorderen Begrenzung des Auges mußte aber im Verhältnis von 5 zu 8 verstärkt und ihr Durchschnitt mit der Augenachse um etwa 3 mm nach hinten gerückt werden.

Wie sich unter der gegenwärtigen Voraussetzung die in Art. 3 vorgetragenen Konstruktionen vereinfachen, ergibt sich ohne weitere Auseinandersetzung leicht von selbst, und es genügt hier, darauf aufmerksam zu machen, daß, sowie sich die

*) Dieser Knotenpunkt ist — seiner optischen Bedeutung nach — ganz id ntisch mit dem *Volkmann*schen Kreuzungspunkte, und man mag ihn, will man die Beziehung zu den beiden Knotenpunkten der genaueren Theorie außer Acht lassen, hinfort Kreuzungspunkt nennen, wenn auch die von *Volkmann* ermittelte Stelle im Auge noch einer Verbesserung bedürfen sollte.

Hauptpunkte und die Knotenpunkte je in einen Punkt vereinigen, so auch die beiden Hauptebenen in eine Hauptebene, ferner die in den Figuren 3, 4, 10 mit (2) und (3) bezeichneten Punkte in einen Punkt, und endlich die erste und zweite Richtungslinie in eine Richtungslinie zusammenfallen.

Die Richtungslinie in der nunmehrigen Bedeutung ist also eine vom (direkt oder indirekt) gesehenen Objektpunkt durch den Knotenpunkt des Auges gezogene gerade Linie. Auf ihr liegt der reelle oder virtuelle Vereinigungspunkt der im Glaskörper verlaufenden Lichtstrahlen. Steht der Objektpunkt im *Horopter* oder in der durch den Refraktionszustand des Auges bedingten Entfernung des deutlichen Sehens, so liegt das Bild auf dem Durchschnittspunkt der Richtungslinie mit der Retina. Steht der Objektpunkt diesseits oder jenseits des Horopters, so empfängt die Netzhaut unvereinigte, über eine Fläche verteilte Strahlen, und die Undeutlichkeit des Sehens ist dem Grade dieser Ausbreitung, d. i. dem Areal der bestrahlten Fläche proportional. Verstehen wir unter Sehrichtung oder Sehlinie bei der jetzt gemachten einfacheren Voraussetzung jede von einer optisch erregten Stelle der Nervenhaut durch den Knotenpunkt nach außen gezogene gerade Linie, so fällt bei Horopterbildern die Sehrichtung mit der Richtungslinie notwendig zusammen, bei Bildern aber von [19] Objekten außer dem Horopter nur dann, wenn derjenige Lichtstrahl, welcher die Mitte des die Strahlen begrenzenden natürlichen oder künstlichen Diaphragmas passiert, zugleich durch den Knotenpunkt geht. Es beruht hierauf nicht bloß die Erklärung der bekannten Versuche von *Schreiner* und *Young*, sondern auch der Vergrößerung oder Verkleinerung der scheinbaren Größe diesseits oder jenseits des Horopters liegender Objekte, wenn man sie durch kleine Öffnungen betrachtet*).

---

*) *Burow* hat in seiner Schrift: »Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges«, bei seiner Methode, den Kreuzungspunkt zu bestimmen, diesen letzteren Umstand übersehen (S. 85), und ist dadurch zu dem irrigen Schlusse verleitet worden, daß der Kreuzungspunkt vor der Hornhaut liege, und daß seine Entfernung von derselben eine Funktion von der Elongation indirekt gesehener Objekte sei (S. 91, 92). Hätte der Verfasser seine Beobachtungszahlen mitgeteilt, so ließe sich wahrscheinlich das richtige Resultat aus ihnen ableiten.

6.

Haben wir nun bei den bisherigen Betrachtungen aus den gegebenen einfallenden Strahlen den Weg der im Glaskörper zwischen der letzten Trennungsfläche der drei Medien des Auges und der Netzhaut abgeleitet, so bliebe noch eine Betrachtung derjenigen Wege übrig, welche die Lichtstrahlen in den vor dieser letzten Trennungsfläche liegenden Mitteln, d. h. in der wässerigen Feuchtigkeit und in der Kristallinse durchlaufen. Eine solche Betrachtung ist zwar für die Analyse sowohl der meisten objektiven als auch der subjektiven Gesichtserscheinungen nur von untergeordnetem Interesse. Unser gegenwärtiger Zweck aber, wo es sich um eine entoptische Erscheinung handelt, könnte geeignet scheinen, eine Entwicklung auch dieses Teils der Dioptrik des menschlichen Auges in konstruktiver Form zu veranlassen. Es würde eine mehrmalige sukzessive Anwendung derjeni[**20**]gen Vorschriften notwendig werden, nach welchen man bei einer sphärischen Trennungsfläche zwischen zwei Medien von verschiedenen Brechungskonstanten die gebrochenen Strahlen aus den einfallenden ableitet, Vorschriften, welche sich wesentlich aus den Art. 3 erörterten Regeln ergeben, man man die im vorigen Art. eingeführte Voraussetzung auf sie anwendet. Man könnte sich wegen des sehr geringen Unterschiedes zwischen den Brechungsverhältnissen des ersten und dritten Mittels erlauben, die Kristallinse als auf beiden Seiten von gleichstark brechenden Mitteln umgeben anzusehen, und die durch die erste Trennungsfläche (die Cornea) hindurchgegangenen Strahlen als durch eine Bikonvexlinse von demjenigen Brechungsindex fallend annehmen, welcher dem Übergang von dem benachbarten Medium in die Linsensubstanz entspricht. Indessen zeigt gerade diese Betrachtungsweise, die verschiedentlich zur Berechnung der Vereinigungsweite der im Glaskörper verlaufenden Strahlen angewandt worden ist, daß die bedeutendste Ablenkung der Strahlen bei der ersten Trennungsfläche stattfindet und, daß die Linse so geringe Änderungen in der Konvergenz der Strahlen verursacht, daß auch in dieser Beziehung für die meisten Fälle die einfache Hypothese des vorigen Art. vollkommen ausreicht. Müssen wir auch der Linse wegen ihres Schichtenbaues, falls wir sie als ein homogenes Medium betrachten wollen, einen höheren Brechungsindex beilegen als der größte von *Chossat* für den

Kern derselben gefundene*), so bleibt doch der erforderliche relative Index der [21] Kristallinse noch unter der Zahl $\frac{14}{13}$, während beim Übergang des Lichtes aus der Atmosphäre in die die Linse umgebenden Substanzen dieses Verhältnis größer als $\frac{4}{3}$ (etwa $\frac{103}{77}$) gesetzt werden muß, und die Richtungsunterschiede vor und hinter der zweiten und dritten Trennungsfläche werden selbst für die Randstrahlen bei weit geöffneter Pupille meist so gering, daß die Deviation, zumal auf so kurzen Wegen (von kaum 5 mm), auch für unseren Fall ohne erheblichen Fehler vernachlässigt werden kann. Wir betrachten also die rückwärts bis zur Vorderfläche der Hornhaut gezogenen Verlängerungen der im Glaskörper verlaufenden Strahlen, nachdem ihre Bahnen den im vorigen Art. gedachten Vorschriften gemäß bestimmt sind, als die Wege, welche diese Strahlen in der vorderen Augenkammer und in der Kristallinse durchlaufen.

7.

Um den Ausdruck im folgenden abzukürzen, mag ein System solcher Lichtstrahlen, welche alle untereinander parallel sind, oder welche sämtlich von einem Punkte aus divergieren, oder nach einem Punkte hin konvergieren, homozentrisches Licht genannt werden. Es ist also unter dieser Benennung z. B. das parallele Licht eines Fixternes oder eines bestimmten Punktes der Sonnen- oder Mondscheibe begriffen, ferner das von einem bestimmten Punkte der Oberfläche jedes leuchtenden oder beleuchteten Körpers, oder das von einem elektrischen Punkte von unmeßbar kleinen Dimensionen, oder das von einem bestimmten Punkte eines reellen oder virtuellen durch Linsen oder Spiegel entstandenen Bildes divergierende Licht, und endlich Strahlen, welche unter Anwendung katop-

*) Es mag bei dieser Gelegenheit bemerkt werden, daß hierin die einfache, so oft verkannte Lösung des Rätsels liegt, welches man seit langem in der großen Differenz zwischen Theorie und Erfahrung rücksichtlich der Vereinigungsweite der gebrochenen Strahlen im Auge zu finden pflegt. In ganz neuen physiologischen Schriften, welche diesen Gegenstand mit ungeschickter Breite behandeln, legt man der als homogen betrachteten Linse den relativen Index 1,0350 bei und sucht alsdann die Widersprüche, welche aus diesem Verstoß gegen die Optik [21] erwachsen, durch die erkünsteltsten, aller physikalischen und physiologischen Stütze ermangelnden Mittel zu heben.

trischer oder dioptrischer [22] Mittel nach einem reellen Bildpunkte hin konvergieren. Statt eines Systemes homozentrischen Lichtes begegnen wir in der Natur und bei optischen Versuchen häufig einer Gesamtheit von Systemen homozentrischen Lichtes, deren Zentra auf einer Fläche oder in einem körperlichen Raume, bald von geringerer, bald von größerer Ausdehnung, verteilt sind. So ist das Sonnenlicht ein Aggregat von Systemen parallelen Lichtes, deren Zentra auf einer kreisförmigen Scheibe von 32 Minuten Kleifung*) liegen und demnach Richtungsdifferenzen bis 32 Minuten darbieten. Je geringer nun überhaupt dies Maximum der Richtungsunterschiede ist, welche an einem gegebenen Orte unter den dahin gelangenden Strahlen vorkommen, desto mehr wird sich das Aggregat von homozentrischen Systemen einem einzigen System nähern. In vielen Fällen kann das Licht von solchen Planeten, deren Durchmesser $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ Minuten hält, als ebenso einfach homozentrisch betrachtet werden, wie das von einem Fixstern ausgehende**), und für den gegenwärtigen physiologischen Zweck sind Abweichungen von der genauen Homozentrizität von noch viel größerem Betrag zulässig.

8.

Fällt ins Auge homozentrisches Licht, dessen Zentrum in der Nähe der vorderen Brennpunktsebene liegt, so werden die im Inneren des Auges verlaufenden Lichtstrahlen gleichfalls homozentrisch, aber beinahe parallel sein. Die in den Art. 3 und 5 enthaltenen Regeln geben uns in jedem besonderen Fall Auskunft über die Lage des Zentrums der Lichtstrahlen im Auge. Liegt der leuchtende Punkt in ge[23]ringer Entfernung vor der vorderen Fokalebene, so erhalten die inneren Strahlen eine geringe Konvergenz, und das Zentrum oder der reelle Vereinigungspunkt liegt in beträchtlicher Entfernung hinter dem Auge. Befindet sich der leuchtende Punkt nahe hinter der vorderen Fokalebene, so erhalten die inneren Strahlen eine geringe Divergenz, und das Zentrum oder der virtuelle Vereinigungspunkt liegt in größerer Entfernung vor dem Auge.

*) Soviel als »scheinbarer Durchmesser, scheinbare oder Angulargröße«.

**) Einen Fall, wo diese Gleichstellung nicht statthaft ist, bietet die bekannte von *Arago* gegebene, auf der Undulationsansicht beruhende Erklärung des Funkelns der Fixsterne dar.

Diese Entfernung wird unendlich groß, oder das die brechenden Medien des Auges durchlaufende homozentrische Licht wird parallel, wenn der leuchtende Punkt vor dem Auge in der vorderen Brennpunktsebene selbst liegt.

Es stehen verschiedene Mittel zu Gebote, homozentrisches Licht von beträchtlicher Vereinigungsweite im Inneren des Auges zu erzeugen. Die in die Nähe der vorderen Brennpunktsebene zu bringende Lichtquelle kann in einer sehr feinen Öffnung eines 1 oder $1\frac{1}{2}$ cm vor die Vorderfläche der Hornhaut gehaltenen Schirmes bestehen, welche Licht von möglichst gleicher Intensität und Farbe von einem hinreichend ausgedehnten hellen Hintergrunde durchläßt. Zum Schirme dient jeder dunkelfarbige Karton oder ein dünnes, geschwärztes Metallblech. Die Öffnung kann mittels einer feinen Nähnadel gemacht werden, deren Spitze man in den auf einer glatten Unterlage von hartem Holz liegenden Schirm nur so tief eindringen läßt, als nötig ist, ihn zu durchstechen. Man kann auf diese Art leicht Löchelchen anfertigen, deren Weite $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{15}$ mm beträgt. Die Größe von etwa $\frac{1}{10}$ mm kann als sehr zweckmäßig empfohlen werden. Als Hintergrund dient bei Tage der blaue oder gleichmäßig bewölkte Himmel, eine weiße, von der Sonne beleuchtete Wand oder Papierfläche, abends jeder helle, die Lichtstrahlen diffundierende Schirm (wie mattgeschliffenes Glas, Milchglas, dünnes oder geöltes Papier), den man in geringer Entfernung hinter den die Öffnung enthaltenden [24] dunkeln Schirm hält und von der Rückseite durch eine oder mehrere nahe gebrachte Kerzen- oder Lampenflammen nach Bedürfnis hell erleuchtet.

Man kann ferner jedes reelle oder virtuelle sowohl dioptrisch als katoptrisch erzeugte, sehr verkleinerte Bild eines leuchtenden Gegenstandes von geringer Ausdehnung auf dunklem Hintergrunde in die erforderliche Nähe vor das Auge bringen. So läßt sich z. B. das kleine virtuelle Spiegelbild einer Lichtflamme auf einer starkkonvexen Stelle der glatten Oberfläche eines Fingerringes, auf einer foliierten Glasperle, auf einem kleinen Nadelkopf von dunkelm Glase u. dgl. m. hierzu anwenden. Die Spiegelflächen selbst müssen, da die virtuellen Bilder hinter ihnen liegen, dem Auge desto näher gebracht werden, je geringer ihre Krümmung ist. Ebenso kann man das virtuelle Bild eines kleinen leuchtenden Objektes hinter einer Zerstreuungslinse von kurzer Brennweite benutzen. Die durch starke Sammellinsen (Mikroskopobjektive) oder durch

Hohlspiegel von kleinem Krümmungsradius erzeugten reellen Bilder gewähren den Vorteil, dem Auge ohne Gefahr störender körperlicher Berührungen beliebig genähert werden zu können, ja man kann durch Benutzung reeller Vereinigungspunkte das Zentrum des einfallenden homozentrischen Lichtes ins Innere des Auges oder hinter dasselbe verlegen, was in besonderen, hier jedoch nicht näher zu berücksichtigenden Fällen von Interesse sein kann. Endlich können mehrere der erwähnten Mittel so miteinander kombiniert werden, daß, nach Art anderer optischer Werkzeuge, reelle oder virtuelle Bilder wiederholentlich als Objekte zur Erzeugung neuer möglichst kleiner Bilder verwandt werden. Man kann hierzu jedes Fernrohr oder Mikroskop benutzen, an welchem man die Distanz der Linsen ändert und ihre Plätze vertauscht.

Obwohl die letzterwähnten künstlicheren Vorrichtungen unter besonderen Umständen Vorteile bieten können, so reicht doch für den Hauptzweck das vorerwähnte sehr ein[**25**]fache Mittel, bestehend in einem dunkeln Schirm mit sehr feiner Öffnung, nicht nur vollkommen aus, sondern es verdient vor jenen auch meist den Vorzug, insofern es frei von manchen, bei Anwendung von Linsen und Spiegeln schwer ganz zu vermeidenden, Mißständen ist, welche die Reinheit entoptischer Erscheinungen wesentlich beeinträchtigen können. Ich durfte mich daher bei der Angabe jener zusammengesetzteren Mittel, deren Einzelheiten jedem kundigen Leser bekannt sind, hier um so mehr auf kurze Andeutungen beschränken.

Um die Größe der Abweichung von der vollkommenen Homozentrizität der im Inneren des Auges verlaufenden Lichtstrahlen für den Fall zu überschlagen, daß ein Schirm mit einer kleinen Öffnung in die vordere Fokalebene des Auges gebracht wird, setzen wir die Entfernung des vorderen Brennpunktes vom Knotenpunkt gleich 20 mm und die Weite der Öffnung, wie oben erwähnt, gleich $\frac{1}{10}$ mm, dann wird sich das im Auge verlaufende parallele Licht verhalten, wie das von einem leuchtenden Gestirn von gleichem scheinbaren Durchmesser mit der vom Knotenpunkt aus gemessenen kleinen Lichtscheibe in der vorderen Fokalabene, d. h. von ungefähr 17 Minuten oder etwas über die Hälfte des Sonnen- oder Monddurchmessers. Die Abweichung von der Homozentrizität beträgt also etwa 0,3 Grad, von der man in unserem Falle ganz absehen darf. Beim Näherrücken des Schirmes gegen das Auge wird freilich nach Maßgabe der Verminderung seiner Distanz

vom Knotenpunkt diese Abweichung größer, und sie müßte, sollte ihrem Einfluß Rechnung getragen werden, für jeden bestimmten Ort im Auge besonders berechnet werden, insofern das Licht nun nicht mehr parallel, sondern divergent wird, eine Berechnung, welche sich aus den im 3. und 5. Art. gegebenen Vorschriften leicht von selbst ergibt. Die Abweichung fällt hier desto größer aus, je weiter nah vorn icm Auge der in Betracht gezogene Ort gelegen ist.

Es verdient hierbei noch angemerkt zu werden, daß [**26**] aus der erwähnten Abweichung von der Homozentrizität, oder der größten Richtungsdifferenz unter allen Strahlen, die von einer kreisförmigen Lichtquelle nach einem gegebenen Orte gelangen, ein Maß für die Unvollkommenheit der Homozentrizität gefunden wird, wenn man den halben Durchmesser des leuchtenden Kreises, in Bogenminuten ausgedrückt, quadriert und durch die Zahl 47 272 411 dividiert, wobei als Einheit die vollständige Allseitigkeit des einfallenden Lichtes zugrunde liegt, wie sie im Inneren einer leuchtenden Hohlkugel stattfinden würde. Für unseren obigen Fall einer Abweichung von 17 Minuten wäre hiernach das Maß der Unvollkommenheit der Homozentrizität etwa anderthalb Milliontel.

9.

Gehen wir nun zu den entoptischen Erscheinungen im homozentrischen nahezu parallelen Lichte über.

Zunächst sehen wir ein mäßig erleuchtetes, fast kreisförmiges Feld, den seiner Form nach durch die Pupille bestimmten, sogenannten Zerstreuungskreis. Die meisten Augen gewahren, wenigstens bei einiger Aufmerksamkeit, an dem Umfang desselben kleine Unregelmäßigkeiten, die oft nur geringe, zuweilen aber auch auffallendere Abweichungen von der Kreisform verursachen und der Grenze ein welliges, eckiges oder buchtiges Ansehen geben. Diese kreisähnliche Gestalt des Zerstreuungskreises ist ein genaues Abbild des Umfanges der Pupille, und es ist nach dem im Art. 5 über die Sehrichtungen Gesagten von selbst klar, daß wir unsere Pupille in umgekehrter Lage, d. h. in ihrer Ebene um 180° gedreht, im Horopter sehen, so daß (wie Krankheiten, Mißbildungen oder Verletzungen der Iris ähnliche Fälle erzeugen können) ein Auge mit △förmiger Pupille das Zerstreuungsfeld in dieser Form ▽ entoptisch wahrnehmen würde. Das den Kreis umgebende Dunkel ist die

[27] Wirkung des Schlagschattens, welchen das undurchsichtige Diaphragma, oder die Iris samt der Uvea, im homozentrischen Lichte auf die Netzhaut wirft. Sollte man die scheinbare Größe oder die Kleifung des Zerstreuungskreises bestimmen, so hätte man von zwei einander diametral gegenüberliegenden Punkten des auf die Retina fallenden Schlagschattens des Pupillarrandes die Sehlinien durch den Knotenpunkt zu ziehen und den von ihnen gebildeten Winkel zu bestimmen. Setzen wir beispielsweise in einem Auge die Entfernung des Knotenpunktes von der Macula lutea = 15 mm, so wird im parallelen Lichte für jedes Millimeter im Durchmesser der Pupille die Kleifung des Zerstreuungskreises 3° 50′, also z. B. für 4 mm Pupillenweite 15° 20′.

Den bekannten Wechsel in der Größe der Pupille kann man sehr leicht entoptisch an den Veränderungen in der Kleifung des Zerstreuungskreises wahrnehmen. Verkürzt man durch Adaptierung die Sehweite, so verkleinert sich, unter übrigens gleichen Umständen, die Pupille und umgekehrt. Augen von geübtem Einrichtungsvermögen erkennen diese Veränderungen als mit dem Willensakt nahezu gleichzeitig eintretend, ähnlich wie bei den unter dem direkten Einfluß der Willkür stehenden Bewegungen. Ändert man ferner, ohne willkürliche Einwirkung auf den Akkommodationszustand, die Intensität des ins Auge fallenden Lichtes (etwa durch seitliche Schirme oder durch Abänderung der Lichtquelle selbst), so erweitert sich die Pupille bei abnehmender Lichtstärke und umgekehrt. Endlich läßt sich die konsensuelle Reflexbewegung der Iris bequem beobachten, welche durch den Einfluß des Lichtwechsels auf das andere Auge verursacht wird. Öffnet man das vorher geschlossene andere Auge plötzlich, so nimmt man eine lebhafte Verengerung der Pupille wahr, und auf Schließen des anderen Auges erfolgt alsbald eine Erweiterung. Ursache und Wirkung sind hier durch ein meßbares Zeitintervall voneinander getrennt, und der Verlauf der beiden entgegengesetzten Vor[28]gänge scheint wesentlich verschieden zu sein. Bei meinen Augen beginnt die Verengerung meistens 0,4 einer Sekunde nach Öffnung des andern Auges, sie dauert etwa 0,2 Sekunden und geht — nach Art schwingender Bewegungen — über den Finalstand hinaus, den die Pupille alsdann erst durch eine mehrere Sekunden dauernde geringere Erweiterung allmählich erreicht. Die auf Verschließung des andern Auges eintretende Erweiterung erfolgt etwa nach 0,5 Sekunden, dauert 1—2 Sekunden und

führt anfangs rasch, dann allmählich träger, ohne oszillierend in Verengerung überzugehen, die Gleichgewichtsweite herbei. Schluß und Öffnung des andern Auges bewirkt man bei diesem Versuch zweckmäßiger durch die Hand oder einen Schirm als durch die Lider.

Der Schlagschatten des Pupillarrandes und somit auch die Kleifung des Zerstreuungskreises wird größer oder kleiner als bei parallelem Licht, wenn durch geringe Versetzungen der Lichtquelle diesseits oder jenseits der vorderen Brennpunktsebene das Licht im Auge divergent oder konvergent wird. Wäre die Lage der Lichtquelle gegen das vordere Fokalplanum und die Größe der Pupille gegeben, so würde man nach früher gegebenen Regeln das rück- oder vorwärts gelegene Zentrum des homozentrischen inneren Lichtes bestimmen und alsdann durch leichte Konstruktion die Größe des Schlagschattens der Pupille auf der Retina und die Kleifung des Zerstreuungskreises finden, wobei die Entfernung des schattenwerfenden Randes des Iris von der Netzhaut näherungsweise zu 20 mm angenommen werden darf.

Die Schärfe der Begrenzung des Schlagschattens — in optischem Sinne — hängt ab von der Breite des Halbschattens, d. h. von der Abweichung des im Auge verlaufenden unvollkommen homozentrischen Lichtes. Für den im vorigen Artikel besprochenen Fall einer Abweichung von 17′ wird die Kleifung der Halbschattenbreite bei einem 20 mm von der Netzhaut entfernten Diaphragma fast 23′ und somit für eine 4 mm weite Pupille etwa der 40. Teil des Durchmes[29]sers des Zerstreuungskreises. Die Deutlichkeit der Begrenzung — physiologisch genommen — hängt nun zwar von der Unvollkommenheit der Homozentrizität ab, wie man sich leicht durch den Versuch mit größeren vor das Auge gehaltenen Öffnungen davon überzeugt. Indes ist die Undeutlichkeit bei kreisförmigen Lichtquellen viel kleiner als die Breite des Halbschattens. Das Auge zählt einen bedeutenden Teil des Halbschattens dem Lichtfelde, einen geringen dem Schattenraume zu, und nur ein kleiner Rest bedingt die Undeutlichkeit der Schattenbegrenzung*).

*) Mit diesem Verhältnis, dessen weitere Verfolgung einer andern Gelegenheit vorbehalten bleiben muß, hängt bei den Mondfinsternissen sowohl die sehr geringe (scheinbare) Verdunklung des fast ganz in den Halbschatten eingesenkten Mondes, als der durchgängige Überschuß des beobachteten Vollschattens über den theoretischen nahe zusammen.

Obgleich sonach die von der unvollkommenen Homozentrizität des Lichtes herrührende Unbestimmtheit der Schattenbegrenzung nur wenige Minuten beträgt, so erleidet die für den gegenwärtigen Zweck beabsichtigte Schärfe des Schlagschattens auf der Netzhaut doch noch von anderer Seite her einen mehrfachen Eintrag. Es findet aber die hierher gehörige histologische Ungleichförmigkeit der brechenden Medien füglicher bei den nachher zu betrachtenden, im Zerstreuungsfelde stattfindenden Erscheinungen ihre Berücksichtigung, und der störende Einfluß physikalischer Momente, als Diffraktion und andere Interferenzwirkungen, die ein reiches Material künftiger besonderer Untersuchungen abgeben werden, läßt sich durch die Wahl passender Mittel wenn nicht ganz aufheben, doch sehr verringern. Es wird hier vorausgesetzt, daß man sich nur mäßig starker Lichtquellen bediene, die in allen Richtungen gleichstarke und gleichfarbige Strahlen aussenden, und daß man namentlich das intensive, die komplizierten Interferenzspektra erzeugende Sonnenlicht vermeide.

[**30**] 10.

Die Kleifung des im Gesichtsfeld erscheinenden und nur durch indirektes Sehen in allen seinen Teilen zugleich auffaßbaren Zerstreuungskreises ist größer als der Winkel, um welchen, bei unverrückter Stellung der Lichtquelle gegen die Augenhöhle, die Achse um den Drehungspunkt gedreht wird, wenn wir einen Durchmesser des Zerstreuungskreises von einem Ende bis zum andern visierend durchlaufen. Oder mit andern Worten: der durch eine in der vorderen Fokalebene gelegene feine Öffnung direkt sichtbare Teil des Himmels ist kleiner als der indirekt gesehene.

Halten wir uns an den Fall des vorigen Artikels, wo für eine 4 mm weite Pupille ein paralleles (inneres) Licht der scheinbare Durchmesser des durch Visieren oder direktes Sehen abreichbaren Teiles des Himmels nur 9° 21′. Durchlaufen wir visierend den Umfang des Zerstreuungskreises, so bewegt sich sein Mittelpunkt in einem Kreise, dessen Radius 3° oder fast 6 Mondbreiten beträgt. Das Zentrum der Bewegung liegt dabei zwischen dem direkt visierten Punkt des Umfanges und dem indirekt gesehenen (mittels Augenmaßes zu schätzenden) Mittelpunkt. Jede Bewegung des Visierpunktes im Gesichtsfelde bringt eine entgegengesetzte des ganzen Zerstreuungs-

kreises hervor. Die letztere ist im Verhältnis 64 : 100 kleiner als die erstere. Die in diesen Bewegungen enthaltene Parallaxe, welche mit andern früher erwähnten Parallaxen nicht verwechselt werden darf, hängt von dem gegenseitigen Verhältnis von vier Größen im Auge zugleich ab, nämlich von der Entfernung der Pupille von der Netzhaut und den drei Entfernungen des Knotenpunktes von der Netzhaut, von dem vorderen Brennpunkt und von dem mechanischen Mittelpunkt des Auges*).

[**31**] Man überzeugt sich leicht durch den Versuch von dieser Parallaxe, wenn man bei ungeänderter Stellung des Kopfes und der Lichtquelle die fraglichen Bewegungen auf einem entfernten Felde bemißt, welehes mit festen, als Marken dienenden Punkten oder Linien versehen ist. Es kann hierzu der Schirm mit feiner Öffnung und ein stark leuchtendes, mit dunkeln Linien bezogenes, den Hintergrund bildendes Papier angewandt werden, oder, was zu diesem Zwecke noch bequemer ist, das auf einer kleinen Kugel (Glaskopf einer Nadel) gespiegelte Bild einer Kerzenflamme und ein dunkler Hintergrund mit hellen Punkten oder Linien.

Bei den folgenden Betrachtungen werden wir von der eben erörterten Beweglichkeit des ganzen Zerstreuungskreises absehen, und die in dem Lichtfelde irgendwie wahrnehmbaren

---

*) Bezeichnen wir diese vier Größen in der aufgeführten Ordnung [**30**] durch a, b, c, d, so ist (mit einer in den meisten Fällen genügenden Approximation) das Verhältnis der Bewegung des ganzen Zerstreuungskreises zu der Bewegung des Visierpunktes $= -\frac{(a-b)c+ad}{bc}$. Da b stets kleiner als a ist, so ist dies Verhältnis immer negativ, d. h. die eine Bewegung ist der andern entgegengesetzt. Setzen wir in Millimetern $a = 20$, $b = 15$, $c = 20$, $d = 4{,}6$, so ergibt sich für dieses Verhältnis der oben angebene Wert $-0{,}64$. Die Bewegung des Visierpunktes zwischen zwei bestimmten Punkten des Zerstreuungskreises verhält sich zur Kleifung zwischen beiden Punkten, wenn der Visierpunkt ruht, wie $\frac{bc}{a(c+d)}$ zur Einheit. Für die angeführten numerischen Werte wird dies Verhältnis 0,61 und der direkt sichtbare Teil des Himmels verhält sich zum indirekt gesehenen, wie 37 zu 100. Diese Bestimmungen beruhen auf der Voraussetzung, daß die Lichtquelle in der vorderen Brennpunktsebene liege und das Auge für paralleles äußeres Licht adaptiert sei. Der Vorgang ist für mäßige Abweichungen von diesen Voraussetzungen wesentlich derselbe und nur in numerischer Hinsicht anders. Eine allgemeinere Entwicklung jedoch, so sehr sie für anders Fragen von Interesse wäre, kann bei unseren gegenwärtigen Betrachtungen füglich entbehrt werden.

Objekte nicht auf feste Punkte des Himmels oder eines Hintergrundes, sondern auf bestimmte Punkte des Zer[32]streuungskreises selbst beziehen. Sind wir auch hierbei zunächst nur auf das Augenmaß und die Kunst der Vergleichung während indirekten Sehens angewiesen, insofern wir das Diaphragma im lebenden Auge nicht wie im Fernrohr mit einem Fadennetze ausstatten können, so reicht doch hier schon meistens eine mäßige Übung und Fertigkeit aus. Zuvörderst ist der durch Schätzung leicht auffaßbare Mittelpunkt des Kreises als ein solcher fixer Punkt zu betrachten. Durch ihn zieht man in Gedanken leicht einen vertikalen und einen horizontalen Durchmesser. Ferner ist der Umfang neben diesem eingebildeten Fadenkreuz gleichsam als Kreismikrometer anwendbar, wobei indes die im vorigen Artikel besprochenen Veränderungen, welche von Erweiterung oder Verengerung der Pupille herrühren, nicht außer acht bleiben dürfen.

11.

Bringen wir in den zwischen der Lichtquelle und der Hornhaut befindlichen wirksamen Strahlenkegel divergenten homozentrischen Lichtes einen kleinen Körper, so muß ein Schlagschatten desselben in aufrechter Stellung auf der Netzhaut entstehen, und der Körper wird in umgekehrter Stellung gleichsam silhouettiert im Zerstreuungskreise erscheinen. Der bekannte Versuch mit einer Stecknadel läßt sich mit einem Glasmikrometer, mit gewebten Stoffen (wie Bobbinnet u. dgl.) mit organischen Objekten (wie Holzdurchschnitten, Insektenflügeln usw.) anstellen. Auf dieselbe Weise werden die Wimpern und selbst die Augenbrauen unseres eigenen Auges sichtbar. Fig. 12 stellt die im Zerstreuungskreise wahrgenommenen Wimpern des oberen Augenliedes dar. Der untere Teil des Lichtfeldes ist durch das niedergesenkte Augenlid selbst verdunkelt. Die zwischen je zwei Wimperhaaren über diesen Schattenraum nach unten sich erstreckenden Lichtstreifen rühren von der Zerstreuung des Lichtes [33] an der durch Kapillarität stark konkav gestalteten Oberfläche der Tränenfeuchtigkeit am Augenlidrande her. Diese Lichtstreifen treten bei intensiver Lichtquelle sehr stark und in bedeutender Verlängerung nach unten hervor, im Sonnenlichte zugleich mit unregelmäßigen aber brillanten Dispersions- und Interferenzwirkungen. Kehrt man die Zeichnung um, so hat man das vergrößerte Bild des vor der Pupille stehenden

Teiles der oberen Wimpernreihe*) in natürlicher Lage. Dieses Augenwimpernbild ist es, welches wir oft bei Fernrohren und Mikroskopen durch schnelles und unbewußtes Blinzeln oder durch Einbiegen der Wimperhaare an der Okularfassung für Augenblicke gewahr werden, und welches den Unkundigen nicht selten im Gebrauch solcher Werkzeuge stört. Hier glaubte ich seiner erwähnen zu dürfen, um den ungeübten Beobachter vor Verwechslungen dieser Erscheinung mit entoptisch gesehenen Binnenobjekten des Auges zu warnen. Man verhütet dieses Schattenbild leicht durch angemessenes Öffnen der Lider oder durch geringes Rückwärtsbringen des Kopfes.

12.

Die im vorigen Artikel erwähnte Art von Erscheinungen (von Objekten zwischen dem Auge und der Lichtquelle) beiseite gesetzt, nehmen wir nun bei homozentrischem, nahezu parallelem inneren Lichte verschiedenartige, teils veränderliche, teils beharrliche Gegenstände im Zerstreuungsfelde wahr. Die veränderlichen kehren fast bei allen Augen in ähnlicher Weise ebenso häufig als regellos wieder; die beharrlichen, welche unsere Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch nehmen sollen, bieten in mehrfacher Hinsicht bei verschiedenen Augen große Verschiedenheiten dar. Wir betrachten zunächst die ersteren, aber nur so weit, als zur [34] gehörigen Unterscheidung zwischen ihnen und den letzteren nötig scheint.

Zu den veränderlichen Erscheinungen gehören:

1. Die sogenannten fliegenden Mücken (*myodes*, *muscae volitantes*, *mouches volantes*). Vorzugsweise sind hierher zu zählen die einzeln und sporadisch auftretenden, die ordnungslos zusammengruppierten und die zu perlschnurartigen Filamenten aneinandergereihten kleinen kreisförmigen Scheibchen mit hellem Inneren und dunklem, bei intensivem Lichte mit diffraktorischen Farbenringen umgebenem Kontur. Die Kleifung der einzelnen Perlen variiert von 3—8 Minuten, und die meisten sind 5—6 Minuten groß. Diese Skotome, welche in der neueren Zeit die Aufmerksamkeit der Ärzte, Physiologen und Physiker vielfach in Aspruch genommen haben, müssen, da sie im diffusen wie im homozentrischen Licht fast in gleicher Weise und nur wenig ungleicher Frequenz erscheinen, von entoptisch

*) An meinem eigenen linken Auge.

wahrnehmbaren organischen Gebilden herrühren, welche in sehr geringer Entfernung von der Retina, sei es zwischen ihr und der Hyaloidea, sei es in sackförmigen Abteilungen der hintersten Lagen des Glaskörpers, befindlich sind. Ihre Gruppen bieten eine große Veränderlichkeit in der gegenseitigen Lage der Bestandteile nach allen Dimensionen des Raumes dar. Ihre Ortsveränderungen im Auge aber sind sehr beschränkt, wie aus der leicht zu beobachtenden Eigentümlichkeit gefolgert werden muß, daß sie sich im Gesichtsfelde immer nahezu gleichsinnig mit dem Visierpunkte bewegen, also ihre Elongationen nur wenig ändern. Sie werden fast von allen Augen, nur in sehr verschiedener Anzahl, gesehen. Ihre Veränderlichkeit selbst ist sehr verschieden. Eine plötzliche Drehung des Auges, Wendung des Kopfes oder sonstige heftige Bewegungen sind oft imstande, ihre Gruppierung und ihre Stellung zum Zentralteil der Netzhaut ganz auffallend zu verändern, während wiederum nicht selten ein Auge dieselbe Gruppe stunden-, tage- und selbst jahrelang nur we[**35**]nig verändert sieht*). Die Untersuchungen über den Sitz und die physiologische Bedeutung dieser Gebilde sind zur Zeit noch nicht geschlossen, und um so mehr darf hier, wo nur auf das Vorkommen dieser leicht kenntlichen Skotome im Zerstreuungskreise des homozentrischen Lichtes hat aufmerksam gemacht werden sollen, des Näheren auf die Erörterungen namentlich von *Brewster* verwiesen werden**).

2. Die von der natürlichen Benetzung der Hornhaut herrührenden Erscheinungen. Bei wiederholtem Schließen und Öffnen des Auges nehmen wir häufig die ungleichförmige Verteilung der Tränenfeuchtigkeit wahr, welche durch Kapillarität und Viskosität an der glatten Oberfläche der Hornhaut haftet. Bei dem Art. 11 erwähnten Versuch kann man leicht durch kleine Bewegungen des halb gesenkten Augenlides das wall- oder wulstförmige Aufstauen der viskosen Feuchtigkeit an den

*) So hat schon im Jahre 1780 *Meister* einen Fall von 24jähriger Beharrlichkeit ähnlicher Skotome berichtet. Die auffallenderen hatten, wie aus seinen Angaben hervorgeht, eine Größe von 7 bis 8 Minuten (Götting. Magaz. f. Wissensch. u. Lit. Jahrg. 1, Stück 4, S. 131).

**) *Brewster* »*on the optical phenomena, nature and locality of Muscae Volitantes; with observations on the structure of the Vitreous Humour, and on the Vision of objects placed within the eye*« in Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh vol. XV. part III. pag. 377. — Vgl. auch *Ruetes* Lehrbuch der Ophthalmologie S. 145.

gebänderten Streifen oder Wasserlinien beobachten, welche unmittelbar nach der Verschiebung in geringen Entfernungen von dem Augenlidrande entstehen und alsbald, je nach dem Grade der Schleimhaltigkeit des festen Überzuges, schneller oder langsamer durch allmählich gleichförmigere Verteilung wieder verschwinden. Diese Erscheinung ist im unteren Teil des Zerstreuungskreises in Fig. 13 dargestellt, wie sie sich nach schnell ganz geöffnetem Auge beobachten läßt. Man sieht ferner im Lichtfelde oft nach dem Blinzeln wolkige und unbestimmt begrenzte lichtere und dunklere Stellen, die meist eine [**36**] selbständige Bewegung von oben nach unten zeigen, dabei aber oft zusehends zerrinnen und verschwinden. Sie rühren von sehr geringen Ungleichheiten in der Dicke der feuchten Schicht und der davon abhängigen wellenartig verteilten Ungleichförmigkeit in der Lichtbrechung an der Hornhautoberfläche her. Endlich nimmt man häufig wassertropfenähnliche helle Punkte wahr, umgeben von einem größeren, etwas dunkleren Hof, die sich beim Öffnen des Auges meist sehr rasch im Zerstreuungsfelde abwärts bewegen. Sie entstehen durch kapillare Anhäufungen der feuchten Schicht ringsum und auf einzelnen Schleimklümpchen oder mechanisch eingemischten, fremdartigen feinen Körperchen, Staubteilchen u. dgl. Die auf der Cornea so entstehenden lokalen meniskusartigen Erhöhungen wirken wie kleine Sammellinsen im Sonnenschein und geben im beleuchteten Teil auf der Retina ein nahezu deutliches und umgekehrtes Bild der Lichtquelle inmitten eines schattigen Raumes, welcher der Ausdehnung der kleinen Ungleichheit entspricht. Bei einem Schirm mit dreieckiger Öffnung (wie man sie leicht mit einer Zirkelspitze sticht) erscheint jeder Tropfen mit einer dreieckigen zentralen Lichtfigur in gleicher Stellung wie die Öffnung, und ebenso werden zwei oder drei kleine, sehr nahe stehende Öffnungen von jedem Tropfen in aufrechter Stellung wiederholt, woraus die verkehrte Stellung der auf der Retina liegenden Bilder folgt. Die Bewegung nach unten aber rührt von einer wirklich nach oben gehenden Bewegung her, die das aufwärts gezogene Augenlid unter wesentlicher Mitwirkung der Viskosität des schleimigen Teiles des Überzuges verursacht. Die wolkigen und tropfenähnlichen Erscheinungen sind im oberen Teil des Lichtfeldes der Fig. 13 versinnlicht. Der sehr bewegliche flüssige Überzug der Vorderfläche des Augapfels, der bei jedem Augenlidschlage gleichsam neu gewebt wird und aus den, ihrem Viskositätsgrade nach sehr verschiedenen

Sekreten der Bindehaut, der *Meibom*schen Drüsen in den [**37**] Lidern, der Ciliarhaarbälge und der Tränendrüsen zusammengesetzt ist, bietet je nach den verschiedenen physiologischen und pathologischen Zuständen des Auges große Verschiedenheiten dar, und so dürfte die entoptische Beobachtung dieses Befeuchtungsmechanismus, bei weiterer Verfolgung, sowohl für den Physiologen als für den Arzt nutzbar werden.

3. Die durch mechanischen Druck des Augapfels kraus gewordene Vorderfläche der Hornhaut. Wenn das Auge vor der Beobachtung eine Zeitlang geschlossen und von vorn mit den Fingern gedrückt oder gerieben worden war, so zeigt das ganze Zerstreuungsfeld außer den bisher betrachteten schneller wechselnden Erscheinungen eine ziemlich gleichförmig verteilte Verschleierung von größeren und unbestimmt begrenzten dunkeln Flecken und Linien, die tapetenmusterartig bald ein getigertes, bald ein netzartiges, bald ein geschlängeltes oder welliges Ansehen darbieten. Während der Bewegungen der Augenachse behalten die Bestandteile dieses grobmaschigen Gewebes ihre gegenseitige Lage und verschieben sich dabei merklich im Zerstreuungskreise, oder in dem darin gedachten Fadennetze, nach einer der Bewegungen des Visierpunktes entgegengesetzten Richtung. Wir erkennen darin die durch den äußeren Druck an der konvexen Oberfläche der Cornea verursachten Unebenheiten, Kräuselungen, Runzelungen oder Faltungen, welche sich durch wesentliche Modifikationen der an dieser Grenzfläche stattfindenden Refraktionen entoptisch kundgeben. Dieser an der Hornhaut künstlich erzeugte anomale Zustand ist je nach der Dauer des vorhergegangenen Druckes nicht bloß verschieden stark in dem entoptischen Spektrum ausgeprägt, sondern geht auch erst nach kürzerer oder längerer Zeit (zuweilen binnen einer Viertelstunde, in andern Fällen erst nach mehreren Stunden) allmählich ganz vorüber. Verschiedene Richtung und Verteilung des Druckes scheint verschiedene Arten der Fältelung der Hornhaut nebst der [**38**] dünnen darüberliegenden Konjunktiva und demgemäß verschiedenartige Zeichnungen und Gewebemuster in der entoptischen Erscheinung zur Folge zu haben. Die Fig. 14 u. 15 stellen beispielsweise zweierlei, an meinem linken Auge verschiedentlich beobachtete Hornhautkräuselungen dar. In Fällen, wo abgegrenzte im Zerstreuungskreise erscheinende Teile der Hornhaut verschiedene Grade der Biegsamkeit und Geschmeidigkeit besitzen, kann diese Beschaffenheit durch die eigentümliche Verschiedenheit

in der Zeichnung ganzer Teile des Gewebes erkennbar werden. Die stärkeren Flexuositäten deuten auf eine größere Geschmeidigkeit der betreffenden Stellen der Hornhautoberfläche. Fig. 16 gibt ein Beispiel, von meinem rechten Auge genommen. Es erscheinen zwei scheibenförmige Stellen der Cornea im Zerstreuungskreise, oben eine größere, deutlicher begrenzte und darunter eine kleinere, schwerer erkennbare, welchen eine größere Rigidität als den angrenzenden Teilen zugeschrieben werden muß. Es bedarf hier kaum der Erinnerung, daß diese Stellen auf der Hornhaut die umgekehrte Lage haben. Auf diese Erscheinung, deren schon *Young* erwähnt hat*), mußte hier aufmerksam gemacht werden, um bei abwechselnden entoptischen Beobachtungen an beiden Augen vor einer Verwechslung dieses vorübergehenden Zustandes des Auges mit einer wesentlichen oder konstanten Eigenschaft zu warnen, einem Irrtum, in welchen der unkundige Beobachter leicht verfällt, wenn er beim Schließen des untätigen Auges einen Druck durch die Finger auf dasselbe ausübt und alsdann zu einem Versuche mit diesem Auge übergeht. Man vermeidet in solchen Fällen den störenden Druck auf das passive Auge, wenn man es mit der flachen Hand statt mit den Fingern geschlossen hält.

Außer den drei aufgeführten Arten veränderlicher ent-[**39**]optischer Erscheinungen im Zerstreuungskreise, die, wie es scheint, fast von allen Augen, nur mit graduellen Verschiedenheiten, wahrgenommen werden, gibt es nun noch mehrere andere, die nur in wenigen Augen vermöge besonderer Eigentümlichkeiten oder pathologischer Zustände vorkommen. Eine genauere Analyse, zu der die hier erörterte Beobachtungsmethode ein zweckmäßiges Mittel darbietet, ist mir, weil in meinen Augen derartige Erscheinungen fast ganz fehlen und die von andern Augen entnommenen Tatsachen noch zu mangelhaft sind, zurzeit nicht möglich gewesen, und bleibt daher den künftigen Untersuchungen von seiten kundiger Beobachter vorbehalten, deren Augen die erforderlichen Eigentümlichkeiten besitzen. Es sind dahin nämlich die Fälle zu rechnen, wo sich in der wässerigen Feuchtigkeit filamentöse, membranöse oder sonstwie gestaltete organische Gebilde, Rudimente u. dgl.**)

---

*) A course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, vol. II, pag. 581.

**) Fälle, wie die von *Wilh. Sömmering* (Isis 1830, S. 717) und

befinden, die in der vorderen Augenkammer ganz frei, oder nur teilweise an der Wandung haftend, umherschwimmen, und durch mechanische Einwirkungen, wie Wendung des Auges, Erschütterung des Kopfes, zufällig in den wirksamen Strahlenzylinder treten und so, wenn sie diaphan sind, durch Verschiedenheit ihres Brechungsverhältnisses von dem der umgebenden Flüssigkeit, oder aber durch eigentümliche Färbung und Opazität entoptisch wahrnehmbar werden. Solche in der wässerigen Feuchtigkeit flottierende Körper werden alsdann Skotome verursachen, die sich von den oben beschrie[40]benen gewöhnlichen Mouches volantes sowohl durch Form und Beweglichkeit, als vorzüglich durch einen hohen Grad von Undeutlichkeit bei gewöhnlichem Sehen im nicht homozentrischen Licht unterscheiden. Wir werde im folgenden noch zu gelegentlichen Bemerkungen über einige in diese Klasse zu zählende Phänomene Veranlassung finden.

13.

Wir betrachten nunmehr die beharrlichen entoptischen Erscheinungen im Zerstreuungsfeld des nahezu parallelen homozentrischen Lichtes.

Wegen der Frequenz und der Mannigfaltigkeit der in jedem Auge wahrnehmbaren veränderlichen Erscheinungen ist zur Entdeckung beharrlicher Binnenobjekte des Auges zuvörderst eine länger fortgesetzte und öfter wiederholte Beobachtung erforderlich, denn nur dadurch wird es gelingen, das Bewegliche und Wandelbare von dem Bleibenden gehörig zu unterscheiden und abzusondern. Hat sich der Beobachter erst durch hinreichende Wiederholung des Versuches mit dem seinem Auge eigentümlichen konstanten entoptischen Schattenbild vertraut gemacht, so wird er auch bald imstande sein, unter Berücksichtigung der zu Ende des Art. 10 gemachten Bemerkungen, die Stelle der gesehenen Objekte oder einzelner Teile derselben in dem

---

Logan (case of Animalcule in the Eye of a child 1833) beschriebenen, von Binnentieren in der vorderen Augenkammer, die indessen gewiß sehr selten sind, würden gleichfalls hierher gehören. In den übrigen wenigen Fällen von Tieren in den brechenden Mitteln des menschlichen Auges, welche *v. Nordmann* (Mikrographische Beiträge zur Naturgeschichte der wirbellosen Tiere, Heft I, S. 7 und Heft II, S. IX) aufgezeichnet hat, sind die Entozoen im Inneren von ausgezogenen Staarlinsen gefunden worden.

eingebildeten Fadenkreuz des Zerstreuungskreises näher zu bestimmen und so gleichsam topographisch festzustellen. Es wird alsdann nur von der Übung des Augenmaßes und der Fertigkeit im Nachzeichnen abhängen, ob es ihm gelingt, das Gesehene naturgetreu abzubilden; und dies wird unter sonst gleichen Umständen hier, wo man sich das Original jederzeit nach Belieben wieder vorführen kann, viel leichter sein als eine Darstellung veränderlicher und vorübergehender Erscheinungen; gleichwie zum Nachzeichnen toter Gegenstände unter dem Mikroskop viel weniger Kunst erfor[**41**]derlich ist, als zur richtigen Auffassung und graphischen Fixierung beweglicher oder lebendiger Objekte. Ein bei objektiv gesehenen Linien oder Körpern brauchbares Erleichterungsmittel wird hier seine Anwendbarkeit fast ganz versagen. Bedient man sich zur Herstellung der Lichtquelle eines (mehrfach erwähnten) sehr kleinen konvexen Spiegels, so würde sich von den konstanten entoptischen Figuren eine Zeichnung, wie mittels der Camera lucida, durch mechanisches Nachzeichnen der auf den Hintergrund oder das Papier durch die Visierlinien projizierten Umrisse anfertigen lassen, hätte nicht, wie im Art. 10 gezeigt ist, der ganze Zerstreuungskreis eine von der Bewegung der optischen Achse abhängige Beweglichkeit. Ständen die Verschiebungen nicht bloß aller Punkte des Zerstreuungskreises, sondern auch aller in ihm wahrnehmbaren konstanten Objekte zu den Bewegungen des Visierpunktes in einerlei Verhältnis, so würde zwar, theoretisch genommen, eine dem Gesehenen ähnliche Zeichnung in verkleinertem Maße*) auf die erwähnte Weise zustande kommen können, in der jeder Punkt direkt gesehen mit dem abgebildeten Punkte koinzidieren würde, deren praktische Ausführung indes wegen Nichtkoinzidenz aller seitlich vom Visierpunkt liegenden Teile selbst für den geübten Zeichner sehr schwierig bleibt. Das Bild würde aber vollends ein unähnliches werden müssen, sobald, was in der Tat vorkommt, jenes Verhältnis nicht für alle Objekte mit dem des Zerstreuungskreises übereinstimmt. Doch wird man in manchen Fällen von diesem Prinzip mit Erfolg Gebrauch machen, indem man zum Behuf des Messens statt einer Papierfläche zum Zeichnen eine passend eingerichtete Skale in den Hintergrund bringt.

---

*) Für die in der Anmerkung zu Art. 10 angewandten numerischen Werte im (linearen) Maßstabe von 0,61.

[42] 14.

Befinden sich an bestimmten Orten im Auge auf dem Wege, den die zu einem System nahezu parallelen homozentrischen Lichtes gehörigen Strahlen durchlaufen, undurchsichtige Körper oder solche durchsichtige, deren Brechungsindex von dem des benachbarten Mediums verschieden ist, so müssen solche Körper auf bekannte Weise durch Schlagschatten oder durch partielle Ablenkungen der Strahlen im Auge wahrnehmbar werden. Setzen wir zuvörderst die Lichtquelle in den vorderen Brennpunkt, so wird (bei konzentrischer Diaphragmaöffnung) der Visierpunkt in der Mitte des Zerstreuungskreises liegen, und alle inneren Strahlen werden mit der Achse parallel gehen. Nennen wir diese Stellung der Achse zur Lichtquelle die erste, um sie von einer andern, der zweiten, zu unterscheiden, in welche durch Bewegung des Augapfels um den festen Drehungspunkt die Achse versetzt wird, wenn wir den Visierpunkt an eine bestimmte außer der Mitte gelegene Stelle des Zerstreuungskreises verlegen. Es stelle Fig. 17 in einem vertikalen Durchschnitt des Auges QAS die erste Grenzfläche, II' die Pupille, RLT die Retina und AL die Achse vor. In der ersten Stellung der Achse zur Lichtquelle sind QR und ST die Grenzstrahlen des zur Achse parallelen inneren Lichtes. Nehmen wir nun auf der Achse drei Örter M, M', M'' an, in denen sich schattenwerfende Körper befinden, der erste in der Ebene des Diaphragmas, der zweite vor, der dritte hinter derselben, so werden in dieser ersten Stellung des Auges die drei opaken Körper nur einen Schatten in die Mitte L des auf der Retina liegenden beleuchtenden Feldes RT werfen und entoptisch als ein einziges Objekt in der Mitte des Zerstreuungskreises erscheinen. Sind ferner für die zweite Stellung des Auges, die z. B. durch niederwärts gehende Bewegung des Visierpunktes herbeigeführt sein mag, qr und st die Grenzstrahlen, so werden nunmehr die drei [43] Körper M, M', M'' drei verschiedene Schattenstellen l, l', l'' auf der Retina erzeugen und somit jetzt getrennt erscheinen, während sie bei der ersten Stellung zusammenfallen. Ein Blick auf die Figur (unter Berücksichtigung der verkehrten Lage der Netzhautbilder) läßt leicht erkennen, daß in beiden Stellungen der Körper M in der Mitte des Zerstreuungskreises erscheint, die beiden andern aber beim Übergang aus der ersten in die zweite Stellung eine Versetzung im Zerstreuungskreise, M' nach oben und M'' nach unten,

erleiden. Diese Ortsänderungen würden bei aufwärtsgehender Bewegung des Visierpunktes die entgegengesetzten sein. Ähnliche Schlüsse gelten für solche Objekte, welche nicht in der Achse liegen. Es ergibt sich hieraus, daß die beharrlichen Binnenobjekte je nach ihrer Entfernung von der Ebene des Diaphragmas Veränderungen in ihrer scheinbaren Lage unter sich und gegen den Zerstreuungskreis durch die Bewegungen des Visierpunktes erleiden, daß nämlich alle hinter der Pupille befindlichen Objekte eine mit den Bewegungen des Visierpunktes gleichsinnige, alle vor der Pupille stehenden aber eine entgegengesetzte Bewegung im Zerstreuungskreise zeigen, und daß nur Objekte in der Ebene der Pupille von diesem Einflusse frei sind. Nennen wir diese von den Bewegungen des Visierpunktes abhängige Lagenänderung eines entoptisch wahrnehmbaren Objektes im Zerstreuungskreise seine relative entoptische Parallaxe, so läßt sich das eben Gesagte auch so aussprechen: *die relative entoptische Parallaxe ist Null für Objekte in der Ebene der Pupille, positiv für Objekte hinter und negativ für Objekte vor der Pupillarebene.* Ihre Größe *)

---

*) Man findet den Betrag dieser Parallaxe leicht aus dem in der Anmerkung des Art. 10 gegebenen Ausdruck für das Maß der absoluten parallaktischen Bewegung des ganzen Zerstreuungskreises. Es sei e die Entfernung eines entoptisch wahrnehmbaren Objektes von der Ebene der Pupille, positiv, wenn das Objekt hinter dieser Ebene liegt, [44] in demselben Maße, wie die Größen a, b, c, d gemessen, so findet man aus dem Ausdrucke $-\frac{(a-b)c+ad}{bc}$, der auch so geschrieben werden kann $1-\frac{a(c+d)}{bc}$, durch Substitution von $a-e$ statt a das Maß für die absolute Parallaxe des Objektes $=1-\frac{(a-e)(c+d)}{bc}$ und mithin den Überschuß dieses Maßes über das auf den Pupillarrand bezügliche $=\frac{e(c+d)}{bc}$. Die absolute Bewegung des Visierpunktes ist aber, wie früher erwähnt, im Verhältnis $\frac{bc}{a(c+d)}$ kleiner als die relative im Zerstreuungskreise. Folglich ist das Verhältnis der Bewegung des Objektes zu der des Visierpunktes, beide Ortsveränderungen relativ — gegen das im Zerstreuungskreise gedachte Fadennetz — bemessen, oder das Maß der relativen entoptischen Parallaxe $=\frac{e}{a}$. Das Vorzeichen stimmt mit dem von e überein. Für den a. a. O. gewählten numerischen Wert der Distanz des Diaphragmas von der Retina wird dieses Maß (unter den dort zugrunde liegenden Voraussetzungen

ist na[44]hezu der Bewegung des Visierpunktes und der Entfernung des Objektes von der Ebene des Diaphragmas proportional. Für Objekte in der Hornhaut, etwa 3 mm vor der Pupillarebene liegend, beträgt sie nahe $\frac{1}{7}$, für Objekte an der Hinterseite der Kristallinse, etwa 5 mm hinter der Pupille, $\frac{1}{4}$ der Bewegung des Visierpunktes. Im ersten Falle sind die Bewegungen entgegengesetzt, im zweiten gleichsinnig. Für Objekte an der vorderen Linsenkapselmembran, deren Distanz von der Ebene der Pupille kaum $\frac{1}{2}$ mm beträgt, ist diese Parallaxe so klein, daß sie dem geübtesten Augenmaße entgehen wird. Solche Objekte, namentlich in der vorderen Kapselmembran befindlich, werden also in Augen, in denen sie sich vorfinden, ganz die Stelle eines Fadennetzes vertreten und die Beobachtung der relativen Verschiebungen anderer, namentlich in der Hornhaut oder in der [45] Kristallinse mehr nach hinten liegender, beharrlicher Binnenobjekte erleichtern. Fänden sich in einem Auge wahrnehmbare Objekte, welche feste Plätze im Glaskörper, an bestimmten Punkten der Scheidemembranen, besäßen, so würde ihre (positive) Parallaxe sehr merklich ausfallen und zwischen dem vierten Teil und dem ganzen Betrag der Visierpunktsbewegungen enthalten sein. Die größte Parallaxe dieser Art zeigen, abgesehen von ihrer eigentümlichen Bewegung, die gewöhnlichen im Art. 12 besprochenen Mouches volantes, welche sich in der Regel in sehr geringen Entfernungen von der Netzhaut befinden. Sie begleiten meistens den Visierpunkt bei seinen Bewegungen fast ganz gleichen Schrittes, so daß sich ihrer wenige, die zufällig vor die Macula lutea treten, durch direktes Sehen, die meisten aber nur indirekt perzipieren lassen.

Während das Spektrum der im Zerstreuungskreise gesehenen beharrlichen Binnenobjekte die Verteilung in den zur Achse senkrechten Dimensionen unmittelbar kundgibt, besitzen wir also in der relativen entoptischen Parallaxe ein diagnostisches Hilfsmittel für die approximative Bestimmung der Verteilung in der Dimension der Achse selbst. Diese Diagnose wird freilich wegen der mit zunehmender Elongation sehr rasch abnehmenden Schärfe des Sehens in der Umgebung des Visierpunktes

und in ähnlicher Approximation) gleich dem Verhältnis der in Millimetern ausgedrückten Entfernung e des Binnenobjektes zur Zahl 20, und die Parallaxe selbst gleich der mit diesem Verhältnis multiplizierten relativen Angularbewegung des Visierpunktes im Zerstreuungskreis.

und wegen der Unsicherheit des auf einen größeren Bezirk außer der Achse auszudehnenden Augenmaßes viel schwieriger sein als die im Art. 13 besprochene Auffassung und daher im allgemeinen nur von beschränkter Anwendbarkeit bleiben. Vielleicht aber dürfte ihr nichtsdestoweniger in einzelnen günstigeren Fällen, zumal wo sie eine Verknüpfung mit anderweitigen anatomischen oder pathologischen Tatsachen gestatten sollte, außer ihrem theoretischen Wert auch einige praktische Bedeutung zugestanden werden können. Im folgenden wird diese relative Parallaxe noch öfter wesentliche Berücksichtigung finden.

[46] 15.

In den Fig. 18—43 ist nun eine Reihe beharrlicher entoptischer Spektra von verschiedenen Personen dargestellt*).

---

*) Ich habe die Figuren bloß nach alphabetischer Ordnung der Beobachter aufeinanderfolgen lassen und dies jeder künstlichen Klassifikation, durch welches die Augen eines Individuums voneinander getrennt würden, und welche bei einer so geringen Zahl von Beobachtungen zurzeit noch ganz wertlos erscheinen müßte, vorgezogen. Die Namen der Beobachter (nebst Angabe des Geburtsortes) sind:

Fig. 18 Hr. Professor *Bergmann* (Göttingen),
» 19 » Dr. *Casselmann* (Rinteln).
» 20 » Architekt *Cavallari* (Palermo),
» 21 » Dr. *Claudius* (Lübeck),
» 22 » Leutnant *Dammers* (Eimbeck),
» 23 » *C. Guthe* (Andreasberg),
» 24 » Stud. *G. Guthe* (Andreasberg),
» 25 » Dr. *Krämer* (Göttingen),
» 26 » *Lier* (Göttingen),
» 27 » Prof. *Listing* (Frankfurt a. M.),
» 28 » Kupferstecher *Loedel* (Hameln),
» 29 » Dr. *Merklein* (Nürnberg),
» 30 » Inspektor *Meyerstein* (Eimbeck),
» 31 » Abbé *Moigno* (Paris),
» 32 » Stadtsyndikus *Oesterley* (Göttingen),
» 33 » Stud. *Ringelmann* (Osnabrück),
» 34 » Prof. *Ruete* (Scharmbeck),
» 35 » Dr. *Sartorius v. Waltershausen* (Göttingen),
» 36 » Hofrat *v. Siebold* (Würzburg),
» 37 » Dr. *Stern* (Frankfurt a. M.),
» 38 » Stud. *Uhlhorn* (Osnabrück),
» 39 » Prof. *Ulrich* (Göttingen),
» 40 » Assessor *Unger* (Hannover),
» 41 » Prof. *J. Vogel* (Wunsiedel),

Schon bei einem flüchtigen Blick fällt die große [47] Mannigfaltigkeit und Verschiedenartigkeit dieser Spektra auf, wiewohl eine gewisse Ähnlichkeit zwischen beiden Augen eines Beobachters oft unverkennbar ist. In jeder Figur sind die Spektra des linken und rechten Auges je eines Beobachters dargestellt und durch die Buchstaben *L* und *R* unterschieden. Es sind hier aus einer viel größeren Zahl von Beobachtungen nur solche aufgenommen, welche in kürzeren oder längeren Fristen zum öfteren verifiziert worden, so daß über die beabsichtigte Ausscheidung der im Art. 12 erörterten vorübergehenden entoptischen Phänomene, mit denen manche der beharrlichen auf den ersten Blick große Ähnlichkeit darbieten, kein Zweifel obwaltet. Bei manchen umfaßt dieser Zeitraum über ein Jahr, bei den auf meine Augen bezüglichen (Fig. 27) etwa $2\frac{1}{2}$ Jahr. Eine hinreichend lange fortgesetzte Beobachtung an einem bestimmten Auge wird über die eventuellen nur nach längeren Zwischenzeiten bemerkbaren und allmählichen Veränderungen der bebeharrlichen Binnenobjekte Aufschluß geben können, wie dies denn in der Tat an meinem rechten Auge bereits hat geschehen können, Veränderungen, deren Verlauf im einzelnen zu beobachten offenbar in manchen pathologischen Vorkommnissen nicht bloß ein allgemein physiologisches, sondern auch ein speziell pathognostisches Interesse haben dürfte. Übrigens ist hier zu erwähnen, daß sich die mitgeteilten Beobachtungen nur auf gesunde oder solche Augen beziehen, deren Funktion beim gewöhnlichen Sehen (teils mit, teils ohne Brille) durch keine hervorstechenden Leiden beeinträchtigt ist.

Außer einem netz- oder florartigen Überzuge des ganzen Zerstreuungsfeldes mit meist sehr undeutlichen aber feinen Maschen, der sich in allen der Prüfung unterworfenen Augen gefunden hat, zeigen sich bei 50 unserer 51 Spektra noch besondere Binnenobjekte von bestimmter Zahl und Konfiguration, und nur bei einem (Fig. 42 *L*) finden wir den Zerstreuungskreis ganz leer, also die brechenden [48] Mittel (wenigstens im Bereich des durchgelassenen parallelen homozentrischen Lichtes) völlig frei von beharrlichen Binnenobjekten. Man darf

---

Fig. 42 » Stud. *E. Weber* (Badbergen),
» 43 » Stud. *H. Weber* (Thedinghausen).

Die Darstellung des linken Auges in Fig. 21 fällt aus, weil dasselbe infolge eines Linsenstaares seit 16 Jahren ganz erblindet ist. — Die Beobachter von Fig. 23 und 24 sind Gebrüder.

hieraus schließen, daß sich bei weitem in den meisten Augen solche Stellen in den brechenden Medien vorfinden, welche den regelmäßigen Gang einer geringeren oder größeren Menge von Lichtstrahlen stören. Künftige zahlreichere Beobachtungen werden das (vielleicht kaum 3 Proz. betragende) Verhältnis der Ausnahmen genauer kennen lehren.

Der Nachteil, der bei gesunden Augen aus dieser Eigentümlichkeit für die gewöhnliche Sehfunktion erwächst, wo sich die regelmäßig verlaufenden Lichtstrahlen in ganz oder nahezu scharfen Bildern auf der Netzhaut vereinigen, ist ebensowenig merklich, als wenn sich im Objektivglas eines Fernrohres kleine partielle Trübungen oder Luftbläschen befinden. Sobald aber die Menge des in dieser Weise absorbierten oder perturbierten Lichtes gegen die des unversehrten in ein erhebliches Verhältnis tritt, so wird daraus unfehlbar eine merkliche Beeinträchtigung erwachsen. Wir sehen hier, wie dies auch in andern Fällen nicht ungewöhnlich ist, nur einen quantitativen Unterschied, also keine scharfe Grenze, zwischen normaler und abnormaler Beschaffenheit bestehen. Gerade in den Übergangsfällen aber und bei allmählich platzgreifenden Erkrankungen scheint die hier in Anwendung gebrachte entoptische Beobachtung des Auges nicht unwillkommene diagnostische Dienste leisten zu können.

16.

Der im Zerstreuungskreise wahrscheinlich jeden Auges wahrnehmbare florartige Überzug ist seiner besonderen Beschaffenheit nach nicht in allen Augen gleich. Seine Helligkeit hängt außer von dem Grade der Durchsichtigkeit der sämtlichen Medien von der Lichtintensität des leuchtenden Hintergrundes und von dem Verhältnis der Kleifung der von der [49] Pupille aus gemessenen feinen Öffnung des Schirmes zur Kleifung des Zerstreuungskreises ab. Sie ist unter gewöhnlichen Umständen etwa 1600mal geringer als die des frei betrachteten Hintergrundes*). In manchen Augen ist diese Helligkeit im ganzen Zerstreuungsfelde gleichförmig, wie in meinem linken Auge und vielen andern, in manchen ungleichförmig, wie in meinem

*) Die Helligkeit des Zerstreuungskreises kann am freien Auge nachgeahmt werden, wenn man den Hintergrund durch einen 16—18fachen schwarzen Krepp (Trauerflor) betrachtet.



rechten Auge, oder wie in Fig. 28 *R*, Fig. 40 *L* und *R*, Fig. 41 *R*. Diese Ungleichförmigkeit scheint Folge der ungleichförmigen Durchsichtigkeit in den brechenden Medien, namentlich der Hornhaut (mein rechtes Auge) und der Kristallinse samt ihren beiden Kapselmembranen zu sein. Die einzelnen mosaikartig erscheinenden, aber undeutlich begrenzten und vielfach verwirrten Maschen und Parzellen des florartigen Netzes sind meist von großer Feinheit (zumal bei sehr gedämpftem Lichte des Hintergrundes und möglichster Beseitigung der Interferenzen) und in dieser Hinsicht wesentlich von denjenigen verschieden, welche man in dem grobgemusterten, Art. 12 beschriebenen, durch Fältelung der Hornhaut entstehenden Spektrum (Fig. 14, 15, 16) wahrzunehmen pflegt. Übrigens bildet dieses Netz mancherlei Verschiedenheiten dar, sowohl in Hinsicht der Helligkeit, Gleichartigkeit und Regelmäßigkeit, als auch rücksichtlich der Deutlichkeit, Größe, Form und Lagerung der Elementarteile, wie dies ohne weitere Auseinandersetzung die Figuren (besonders Fig. 20, 22, 26, 27, 28, 29, 40, 41) hinreichend erläutern. Dieser netzförmige Schleier scheint eine Folge von kleinen Aberrationen zu sein, welche das durchfallende Licht durch sehr geringe aber zahlreiche Unregelmäßigkeiten in der Krümmung der verschiedenen Grenzflächen zwischen den durchsichtigen Medien des Auges erleiden. Diese Wirkung ist also der [50] ähnlich, welche wir leicht an dem durch eine gewöhnliche, nicht geschliffene Glasscheibe fallenden Sonnenlicht wahrnehmen, wenn wir es auf einer weißen Fläche auffangen. Die negative relative Parallaxe, welche sich an vielen der bemerkbareren Lichtzellen im Zerstreuungskreise meiner beiden Augen, und zumal des rechten, erkennen läßt, deutet auf die Cornea als Sitz vieler dieser entoptisch sichtbaren und mit der histologischen Beschaffenheit der Grenzflächen in nahem Zusammenhang stehenden Unregelmäßigkeiten. Zugleich scheinen es diese die erste Refraktion affizierenden Ablenkungen vorzüglich zu sein, welche eine auffallende Ungleichförmigkeit in der Verteilung des inneren konvergenten Lichtes verursachen, wenn man die Distanz der Lichtquelle vom Auge allmählich bis zur Entfernung des Horopters vergrößert, und so die bekannte (jedem Auge in anderer Weise zukommende) Anomalie der vielfachen Bilder beim uniokularen Sehen diesseits oder jenseits des Horopters bedingen. Wo die Maschen gedehnt und streifig aussehen und dabei eine radiale Anordnung zeigen, wie Fig. 26 *L* und *R*, 40 *L* und *R*, 22 *L*,

28 *L*, scheint die Ursache wesentlich mit in der vorderen Linsenkapsel ihren Sitz zu haben.

Was die im Art. 9 erwähnten Abweichungen der Begrenzung des Zerstreuungsfeldes von der Kreisform betrifft, welche bei gesunden Augen nur ein untergeordnetes Interesse darbieten, so sind sie beispielshalber in einigen Figuren mitberücksichtigt und von den Beobachtern naturgetreu nachgezeichnet. Dies ist namentlich der Fall in den Fig. 20, 25, 27, 28, 39, 40. In Fig. 39 *L* sind sie besonders auffallend.

17.

Die beharrlichen Binnenobjekte stellen sich nun auf dem florartigen Hintergrunde des Zerstreuungskreises in sehr verschiedenartigen Zeichnungen dar. Der hohe Grad von Un-[51]veränderlichkeit, den diese Objekte entoptisch zeigen, scheint mit der Annahme, daß sie sich in den flüssigen Medien des Auges befinden, unvereinbar. Wir werden sie demnach als der Hornhaut oder der Kristallinse und ihrer Kapsel angehörig betrachten müssen. Die von der Cornea herrührenden Erscheinungen geben sich entoptisch durch eine merkliche negative Parallaxe (Art. 14) zu erkennen. Alle diejenigen, welche weder untereinander, noch gegen das eingebildete Fadenkreuz des Zerstreuungskreises erkennbare Verschiebungen infolge der Bewegungen des Visierpunktes erleiden, oder deren relative Parallaxe unmerklich ist, müssen entweder der vorderen Kapselmembran oder der Vorderseite der Kristallinse zugezählt werden. Weiter nach hinten, also im Inneren der Linse oder an der hinteren Kapsel liegende Ojekte, die sich als solche durch eine auffallende positive Parallaxe erkennen ließen, kommen in den wenigen hier zu Gebote stehenden Erfahrungen nicht vor, werden aber, wie das Vorkommen angeborener hinterer Kapselstaare wahrscheinlich macht, vielleicht künftig hin und wieder entoptisch beobachtet werden. Die Zahl der Hornhautobjekte ist bei unseren Beobachtungen sehr gering. Die meisten der beharrlichen Objekte scheinen dem Vorderteil des Systemes der Kristallinse anzugehören.

18.

Wir betrachten zuerst die wenigen Beispiele von Hornhautobjekten, welche die hier mitgeteilten Spektra als solche haben erkennen lassen.

In Fig. 24 *L* erblicken wir einen großen runden Flecken. Seine Grundfarbe ist braungelb, die darin enthaltenen Zeichnungen schwarzbraun, der Saum ist hell und, bis auf eine kleine oben links befindliche Unterbrechung, innen und außen scharf begrenzt. Er zeigt eine deutliche negative Parallaxe. Seine Stellung in der Figur ist diejenige, welche [**52**] ihm für den in seine Mitte versetzten Visierpunkt zukommt. Dieser Hornhautfleck, dessen Größe etwa 1,4 mm beträgt und von außen (objektiv) an dem Auge leicht bemerkt werden kann, ist das Resultat einer Hornhautentzündung, an der das Auge ein Jahr vor der entoptischen Beobachtung gelitten hatte.

Fig. 27 *R*. Das Spektrum meines rechten Auges zeigt zwei fast kreisförmig begrenzte Parzellen des lichten Flores, eine größere oben, eine kleinere unten, ferner einen sehr undeutlichen lichten, bogenförmigen Streifen, der die obere Parzelle fast mitten durchsetzt, aber innerhalb noch viel undeutlicher erscheint als außerhalb, und endlich eine kleinere, rechts von der unteren Parzelle stehende, sehr undeutlich begrenzte leichte Verdunklung. Diese Erscheinungen geben sich durch eine negative entoptische Parallaxe als der Cornea angehörig zu erkennen. Ihre in der Zeichnung dargestellte Lage gilt für den im Zentrum des Zertreuungskreises liegenden Visierpunkt. Die beiden Parzellen grenzen sich, wenn die Hornhaut von außen eine Zeitlang gedrückt gewesen, viel deutlicher ab, wie dies bereits im Art. 12 besprochen und in Fig. 16 dargestellt ist. Diese Ungleichheiten in der Zusammensetzung der Hornhaut sind so unbedeutend, daß sie vielleicht nicht anders als entoptisch wahrnehmbar sind. Sie stören die gewöhnliche Sehfunktion nur in sehr geringem Maße, und daß dieses Auge in der Fertigkeit des Sehens (nicht in der Schärfe) dem linken etwas nachsteht, möchte mehr von der Gewohnheit herrühren, beim uniokularen Sehen meistens das linke zu gebrauchen, als von diesen kleinen Unregelmäßigkeiten in dem Bau der Hornhaut. Die Ausprägung dieser Strukturverhältnisse der Kornea ist nicht Folge eines Augenleidens, sie hat seit drittehalb Jahren keine merklichen Veränderungen gezeigt und ist wahrscheinlich angeboren. Das linke Auge enthält keine Spur einer derartigen Erscheinung.

In Fig. 28 *L* zieht sich eine schwarze Linie von un[**53**]gleichförmiger Stärke, dem Sprung in einer zerbrochenen Glasscheibe vergleichbar, von unten links nach oben rechts fast mitten durch das Zerstreuungsfeld. Die Stellung in der Zeichnung

entspricht dem Falle, wo die Mitte des Zerstreuungskreises direkt gesehen wird. Ist aber die Achse auf den links oben gelegenen hellen Fleck gerichtet, so nimmt der schwarze Streifen die Lage eines Durchmessers an, ein Zeichen, daß diese feine dunkle Linie in der Kornea liegt. Dieses beharrliche Hornhautobjekt ist, wie aus dem entoptischen Spektrum leicht zu entnehmen, so zart, daß es von außen nicht zu erkennen ist.

In Fig. 39 *L* befindet sich ein länglicher dunkler Fleck oben im Spektrum. Die Zeichnung stellt ihn an der Stelle dar, die er direkt gesehen einnimmt. Durch Verlegung des Visierpunktes an den unteren Rand des Lichtfeldes rückt der Fleck allmählich bis an den oberen Rand und verbirgt sich zum Teil hinter den hier befindlichen halbinselförmigen Vorsprung der Iris, wie es in Fig. 39 *L'* angedeutet ist. Dieser kleine in der Hornhaut befindliche Fleck scheint von einer vorübergehenden Entzündung herzurühren, die vor 18 Jahren an dem Auge stattgefunden. Gleichen Ursprungs mögen nicht bloß die starken Sinuositäten des Pupillarrandes, sondern auch eine eigentümliche, veränderliche entoptische Erscheinung in diesem Auge sein. An verschiedenen Stellen des Gesichtsfeldes nämlich erscheint beim gewöhnlichen Sehen ein schattiges undeutliches Skotom, welches einmal, als es zufällig vor die Pupille trat, entoptisch im parallelen homozentrischen Lichte genauer beobachtet werden konnte und in Gestalt (Fig. 39 *L''*) eines tierähnlichen Körpers erschien. Dieses Binnenobjekt, das Rudiment eines der Resorption widerstehenden Gebildes, schwimmt ohne Anheftung frei in der wässerigen Feuchtigkeit umher. Es hat (ohne die filamentösen Anhängsel) etwa 1 mm Länge und halb so viel in der Breite.

Es mag bei dieser Gelegenheit noch eine mit dem oben
[**54**] erwähnten Skotom gewissermaßen verwandte Erscheinung angeführt werden. Sie kann als Beispiel der seltneren entoptischen Phänomene veränderlicher Art betrachtet werden, deren zu Ende des Art. 12 gedacht worden ist. Die Erscheinung durfte, obwohl nicht eigentlich zu den beharrlichen gehörig, in das Spektrum mit aufgenommen werden, insofern das Objekt, wenn auch in Form und Lage seiner Bestandteile beweglich, doch einen bestimmten Teil des Zerstreuungsfeldes anhaltend einnimmt. In Fig. 21 *R* ist in dem unten und links liegenden Teil des Feldes ein Konvolut von gespinstartigen und wellenförmigen Lineamenten, die bei den Bewegungen des Auges ihre gegenseitige Lage merklich ver-

ändern, im ganzen aber die in der Figur angedeutete, von unten rechts nach oben links gehende Richtung beibehalten. Aus der erkennbaren negativen Parallaxe und der wandelbaren Form darf geschlossen werden, daß sich in der vorderen Augenkammer ein flottierendes, aber teilweise angeheftetes, filamentöses oder membranöses, sehr durchsichtiges Gebilde der wässerigen Feuchtigkeit befinde, dessen Durchsichtigkeit eine andere als entoptische Wahrnehmung (mittels feiner Öffnung) unmöglich macht, das aber mit einem von außen bemerkbaren, ganz leichten, weißlichen Sediment in der vorderen Kammer nahe am Hornhautrande in Zusammenhang zu stehen scheint. Übrigens ist das gewöhnliche Sehen hierdurch fast gar nicht beeinträchtigt. Die auf diesen Teil des Spektrums bezügliche Darstellung in der Figur kann die Erscheinung nur ihrem Habitus nach ungefähr versinnlichen, während die übrigen Teile wie die in andern Augen genau nachgezeichnet sind. — Mehrfältige anderweitige Erfahrungen leisten der Vermutung Vorschub, daß gerade Erscheinungen dieser oder ähnlicher Art für manche Personen die Hauptschwierigkeit bei Fixierung und Nachzeichnung der Spektra ihrer Augen bilden.

[55] 19.

Während die Hornhaut der Schauplatz sehr frequenter veränderlicher Erscheinungen ist, wie dies im Art. 12 des Näheren nachgewiesen worden, bildet sie vergleichungsweise nur selten den Sitz konstanter Objekte im entoptischen Spektrum. Dagegen erscheinen die Randteile des Linsenapparates, und vorzüglich die nach vorn gelegenen, als der Sammelplatz bei weitem der größten Zahl der beharrlichen Binnenobjekte. Es zeigen nämlich die zahlreichen jetzt noch zu betrachtenden Objekte unserer Spektra entweder gar keine merkliche oder nur eine sehr geringe positive Parallaxe, und wir können ihnen somit nur an der vorderen Linsenkapsel oder an den vordersten Schichten der Kristallinse ihre Stelle anweisen, worauf schon vorhin (Art. 17) aufmerksam gemacht worden ist. Für die Wahl aber zwischen Kapsel und Linse gewährt die relative entoptische Parallaxe allein kein sicheres Kriterium; dieselbe bleibt daher so lange unentschieden, als nicht anderweitige anatomische und pathologische Merkmale eine sichere Diagnose möglich machen. Die folgende Einteilung der fraglichen Objekte, soweit sie in den wenigen hier mitgeteilten

Erfahrungen vorliegen, nach ihrem verschiedenen entoptischen Aussehen kann sonach nur ein provisorisches Interesse darbieten, und sie wird, sind erst zahlreichere Beobachtungen, namentlich auch pathologischer Fälle, gewonnen und mit anatomischen Tatsachen in Verbindung gebracht, andern Platz machen, welche auf wesentlicheren Unterschieden beruhen. Wir finden unter den hier in Betracht kommenden Objekten

1. Perlflecken,
2. dunkle Flecken,
3. lichte Streifen,
4. dunkle Linien.

Die Perlflecken sind runde Scheibchen oder rundliche bis ins Eckige übergehende Flecken, innen hell, meist mit [56] scharfem, dunkelm Rande. Die runden gleichen kleinen Luftbläschen, die eckigen kleinen, durchsichtigen Kristallstückchen, in einer hellen Flüssigkeit unter dem Mikroskop bei durchfallendem Lichte betrachtet; die größeren rundlichen haben oft Ähnlichkeit mit Öltropfen, die auf dem Wasser schwimmen. Manche haben einen sehr hellen Lichtkern, der mit mehr oder weniger deutlichen Farben in den dunkeln Rand verläuft. Einige zeigen einen hellen Saum oder Hof, andere nicht. Bei Fig. 30 *R* verläuft der Kontur von innen nach außen aus dem weißen Kern durch Gelb, Dunkel- und Hellblau in den umgebenden Flor. Ihre Kleifung ist sehr verschieden, aber selbst die kleinsten erscheinen in der Regel größer als die im Art. 12 beschriebenen Scheibchen der Muscae volitantes. Die Größe der Binnenkörper kann verschiedentlich von 0,04—0,50 mm gesetzt werden. Ihre Verteilung ist meist sehr regellos im Zerstreuungskreise, und obgleich sich in Augen, wo ihre Zahl groß ist, zuweilen mehrere bis zur Berührung zusammengedrängt finden, so zeigen sie doch keine Tendenz zur reihen- oder perlschnurförmigen Anordnung. Vgl. Fig. 29, 33, 35, 36, 40, 41, 43. Sie kommen in der Mehrzahl der Augen vor, und zwar entweder allein, wie in Fig. 30, oder mit den andern Arten vergesellschaftet, wie in den meisten unserer Figuren. Mein rechtes Auge gibt ein Beispiel von Neubildung solcher Binnenkörper. Die kleine runde Perle dicht unter dem dreiteiligen dunkeln Flecken (Fig. 27 *R*) ist erst vor kurzem (im Juli 1845) entstanden. Vielleicht daß ähnliche Erfahrungen künftig öfter gemacht werden. Eine kleine positive Parallaxe ist im Auge Fig. 18 *R* an dem ganz unten befindlichen Perl-

fleck wahrgenommen worden, der sich gegen den in der Nähe stehenden dendritischen Lichtstreifen in sehr geringem Maße mit dem Visierpunkt gleichsinnig bewegt.

Die dunkeln Flecken unterscheiden sich von den Perlflecken nicht bloß durch den Mangel eines hellen Kernes, [**57**] sondern auch durch größere Mannigfaltigkeit in der Gestalt. Ihr Inneres ist verschieden dunkel, vom Hellgrauen bis ins Schwarze. Ihre Form ist rund oder rundlich (Fig. 18 *R*, 23, 28, 31, 32, 36 *R*, 37, 39 *L*, 40 *L*, 43 *R*) oder eckig, sinuös und mit lappen- oder flügelartigen Ansätzen versehen (19, 31 *L*, 36 *L*, 42 *R*). Zuweilen bilden sie Gruppen, in denen die Zusammensetzungsweise weniger zufällig zu sein scheint als bei den Perlflecken, und stellen sich dann als drei- oder mehrteilige Flecken oder Systeme dar (19, 26, 36 *R*, 37 *L*). In selteneren Fällen gehen sie ins Amorphe über (22, 39 *R*). Sie sind, zumal die rundlichen, öfter als die Perlflecken am Rande mit einem lichten Saum versehen (18 *R*, 23 *L*, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 37). Die Größe der einfachen Flecken scheint etwas weniger zu variieren als die der Perlflecken. Die Binnenkörper oder die verdunkelten Stellen können 0,04—0,30 mm geschätzt werden. Auch ihre Frequenz scheint etwas geringer zu sein als bei der vorigen Art. Sie kommen nicht bloß allein, wie in Fig. 25 *R* und *L*, sondern auch mit den andern Arten von Objekten zusammen im Spektrum vor und erscheinen oft, sowohl einzeln als gruppenweise, den Lichtstreifen angefügt oder einverleibt (18 *R*, 26, 28, 31, 32, 36 *R*, 37, 40), zuweilen auch mit den Perlflecken verknüpft (22 *L*, 29, 42 *R*). Die dreiteiligen dunkeln Flecken in meinen beiden Augen zeigen eine kleine, aber sicher erkennbare, positive Parallaxe, die sich namentlich in dem linken Auge durch das deutliche Wegrücken von der naheliegenden (neu entstandenen) Perle kundgibt, wenn der Visierpunkt von dem Flecken ab horizontal links gegen die Grenze des Feldes geführt wird. Die Perlflecken haben höchst geringe oder gar keine Parallaxen. Die Zeichnung (Fig. 27) entspricht auch hinsichtlich der Stellung dieser dreiteiligen dunkeln Flecken dem in der Mitte des Zerstreuungskreises befindlichen Visierpunkte.

Die lichten Streifen bilden meist eine Art dendriti-[**58**]scher Figur mit einem mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Zentrum. Sie sind, wie viele Perlflecken, heller als der Flor, gegen den sie bald in ganz unbestimmten (Fig. 20, 26, 28 *R*, 40 *R*), bald aber auch in scharfen dunkeln und

stellenweise breitschattigen Umrissen abgegrenzt sind (18, 21 *R*, 32, 37). Ihr Verlauf ist meist krummlinig, aderförmig, in einigen Fällen ring- oder wallförmig das Zentrum umschließend (21 *R*, 31). Die Zweige sind von sehr verschiedener Länge und können sich über den größten Teil des Zerstreuungsfeldes erstrecken, wie in Fig. 18. Die Breite der mit dunkeln Umrissen versehenen Streifen wechselt von 0,08—0,25 mm. Der Zentralteil der Lichtstreifenfigur liegt meist in der Nähe der Mitte des Zertreuungskreises, seltener weit davon entfernt (21 *R*, 28 *R*). Eine Parallaxe ist noch nicht beobachtet worden. Die Lichtstreifen kommen vielfach mit Perlen und dunkeln Flecken zugleich im Spektrum vor, aber — in unseren Beobachtungen — nicht mit den selteneren dunkeln Linien *). Spektra mit und ohne Lichtstreifenfigur scheinen fast von gleicher Frequenz zu sein.

Die dunkeln Linien endlich unterscheiden sich von den lichten Streifen nicht nur durch dunkles Aussehen, sondern auch durch geringere Breite, mindere Deutlichkeit und mehr geradlinigen Verlauf. Sie zeigen meist eine radiale Anordnung und scheinen vom Umfang des Zerstreuungskreises gegen ein gemeinsames Zentrum hinzuzielen, das manche erreichen, andere aber nicht, indem sie gleichsam unterwegs erlöschen. Vgl. Fig. 23, 24, 27, 35, 38 *L*. Ihre Zahl ist sehr verschieden und mitunter viel größer als die Anzahl der Zweige in den Lichtstreifenfiguren, und sie gehen dann, wie die Fig. 35 verglichen mit Fig. 40, 41, 22 *L*, 26 und 20 zeigt, allmählich in ein radiales Maschengewebe [**59**] des Flores über. Die dunkeln Linien kommen mit Perlflecken und dunkeln Flecken zugleich vor, ob auch mit Lichtstreifenfiguren, wovon, wie schon vorhin bemerkt, unsere Spektra kein Beispiel zeigen, muß sich aus zahlreicheren Erfahrungen erst künftig herausstellen.

20.

Über die anatomische und physiologische Natur der Binnenkörper, welche die verschiedenen im vorigen Artikel beschriebenen Arten von beharrlichen entoptischen Erscheinungen verursachen, läßt sich zurzeit noch keine sichere Erklärung geben,

*) Das Spektrum Fig. 28 *L* macht hier keine Ausnahme, da die dunkle Linie, wie im vorigen Artikel gezeigt, der Hornhaut angehört.

ja kaum eine begründete Vermutung aussprechen. Wissen wir auch im allgemeinen, daß sich diese den Gang der Lichtstrahlen beeinträchtigenden Stellen der brechenden Mittel in geringer Entfernung von der Pupille in dem vorderen Teil der Linse oder ihrer vorderen Kapselbekleidung vorfinden, so sind wir doch noch weit davon entfernt, den einzelnen aufgezählten Arten eigentümliche Sitze und anatomische Bedeutungen beimessen zu können. Die Ansicht, daß die Lichtstreifenfigur das Bild eines durchsichtigen nabelförmigen Gebildes mit naht- oder wulstähnlichen Zweigen in der vorderen Kapselmembran sei, herrührend von der im Fötalzustande erfolgenden Trennung dieses Kapselteils von der Innenseite der Hornhaut*), muß ihre Bestätigung oder Widerlegung erst in feineren, zu diesem Zwecke anzustellenden, anatomischen Beobachtungen dieses Organes finden. Von den drei andern Arten, den hellen und dunkeln Flecken sowie den dunkeln Linien, darf kaum vermutet werden, daß sie einzeln nur der Kapsel oder nur der Linse angehören. Vielmehr scheinen einzelne, zum Teil von der relativen entoptischen Parallaxe entnommene, Indizien darauf hinzudeuten, daß sich durchsichtige, aus der *Morgagni*schen Feuchtigkeit ausgesonderte [60] und kondensierte (in ihr auch anatomisch beobachtete) Schleimkörperchen sowohl an der vorderen Kapsel als an der Vorderfläche der Linse festsetzen und dann die Erscheinung von Perlflecken bedingen; daß ferner durch kataraktähnliche stellenweise gebildete Verdunklungen beider Organe, der Kapsel und der Linse, die dunkeln Flecken entstehen können, die alsdann häufig im nahen Zusammenhang einerseits mit der gedachten Vernarbung in der Kapselmembran, andererseits mit der organischen Struktur der äußersten Linsenschichten stehen mögen; daß endlich die dunkeln Linien der entoptische Ausdruck von Spalt- oder Absonderungsrichtungen sein können, welche in der Kapsel mit der Art des Schlusses und der Vernarbung bei ihrer Ablösung von der Hornhaut, in der Linse mit ihren sektorenförmigen Bestandteilen in anatomischer Beziehung stehen. Auch darf hier auf den möglichen Zusammenhang der bei unseren Beobachtungen durchgängig objektlos befundenen Membran der hinteren Kapsel mit der Seltenheit hinterer Kapselstaare, sowie auf die histologische und anatomische Verschiedenheit zwischen vorderer und hinterer Kapsel aufmerksam gemacht werden.

---

*) Vgl. *Huschke* in *Meckels* Archiv 1832, S. 17.

Die Vergleichung unserer Spektra mit den nur in größerem Maße eintretenden und daher von außen objektiv am Auge wahrnehmbaren Verdunklungsformen, wie sie bei den verschiedenen Arten von Kapsel- und Linsenstaaren vorkommen, ist geeignet, nicht bloß den bereits oben (Art. 15) berührten allmählichen Übergang zwischen normalen und pathologischen Zuständen des Sehorganes zu erläutern, sondern auch beim Studium der physiologischen Natur der entoptischen Binnenkörper brauchbare Daten an die Hand zu geben. In den unseren entoptischen Figuren beigefügten Darstellungen einiger Staarformen*) zeigen sich zum Teil und [61] abgesehen von dem höheren Grad der Opazität auffallende Ähnlichkeiten mit den beharrlichen entoptischen Erscheinungen gesunder Augen. Die Verknüpfung aber der äußeren (objektiven) Diagnose mit der hier dargelegten Art der entoptischen Beobachtung der kataraktähnlichen Verdunklungen und ihres Verlaufes an staarkranken Augen dürfte vielleicht künftig in doppelter Hinsicht, sowohl für die Physiologie als für die Pathologie des Gesichtssinnes von Interesse sein. Die nähere Prüfung und Beurteilung bleibt indessen ganz dem Ophthalmologen anheim gestellt.

---

*) Diese Abbildungen, die ich der gefälligen Mitteilung meines [61] Freundes, des Herrn Professors *Ruete* verdanke, stellen folgende Formen von Katarakten dar:

Fig. 44. Kapselstaar,
» 45. weicher Kapsellinsenstaar,
» 46. Kapsellinsenstaar, sehr rasch, wahrscheinlich durch Entzündung entstanden.
» 47. harter Linsenstaar.
» 48. angeborener Linsenstaar.
» 49. hinterer Kapselstaar.

Vgl. auch *v. Ammons* klinische Darstellungen der Krankheiten und Mißbildungen des menschlichen Auges. Berlin 1838. Teil I. Tab. IX, X, XI, XII.

Anmerkungen.

Johann Benedikt Listing, geboren am 25. Juli 1808 in Frankfurt a. M., ist tschechischer Abstammung. Er verlor im zarten Alter beide Eltern und wurde in der Frankfurter Patrizierfamilie *Bernus Magregor* erzogen. Im Jahre 1829 ging er nach Göttingen, studierte Mathematik als Schüler von *K. F. Gauß*, promovierte 1834, bereiste dann drei Jahre Italien behufs naturwissenschaftlicher Arbeiten und einer geometrischen Aufnahme des Ätna mit *W. Sartorius von Waltershausen* zusammen. Im Jahre 1837 wurde *Listing* Lehrer der angewandten Mathematik und Maschinenkunde an der höheren Gewerbeschule in Hannover, folgte 1839 einem Rufe als Professor extr. an die Universität Göttingen. Ebendort wurde er 1842 ordentlicher Professor der mathematischen Physik und Optik, war auch Berichterstatter für *Dove*s meteorologisches Institut in Berlin und Mitarbeiter am statistischen Amte.

*Listing*s physiologisch-optische Forschungen sind von grundlegender Bedeutung für die Ophthalmologie. Vor allem ist eine mathematische Behandlung des Ganges der Lichtstrahlen im Auge im IV. Bande von *Wagner*s Handwörterbuch der Physiologie hervorragend, sowie des vorliegenden »Beitrages zur physiologischen Optik«, der 1845 in den Göttinger Studien erschien. Die Universität Tübingen ernannte ihn 1877 zum Dr. med. hon. c. Zahlreiche Abhandlungen über Dioptrik erschienen in den Göttinger Nachrichten und in *Poggendorffs* Annalen der Physik und Chemie.

Auch die mathematischen Arbeiten zeigen einen selbständigen Denker von hoher Begabung. Erwähnt sei hier nur: »Der Census räumlicher Complexe oder Verallgemeinerung des *Euler*schen Satzes von den Polyedern« in den Göttinger Abhandlungen von 1862 und: »Neue geometrische und dynamische Constanten des Erdkörpers« in den Göttinger Nachrichten von 1877.

Seinem arbeitsfreudigen Streben setzte ein Unglücksfall am 24. Dezember 1882 ein plötzliches Ende, so daß zahlreiche wertvolle Arbeiten auf verschiedenen Gebieten der angewandten Mathematik und Naturwissenschaften unvollendet blieben. Die Manuskripte, die er hinterlassen hat, sind bis heute noch nicht verwertet worden.

Bei der Frische und Eigenartigkeit seiner Denkweise dürfte im Nachlaß noch mancher Schatz zu heben sein. Dabei verrät seine anmutige Schreibweise einen Geist höherer Ordnungsliebe, die den Leser zu bezaubern vermag. Auch die vorliegende Abhandlung kann hierfür als Beleg dienen.

In ihr gibt *Listing* eine vortreffliche Beschreibung und Erklärung einer Anzahl entoptischer Erscheinungen, namentlich der von der Linse herrührenden. Die Bezeichnung »entoptische Erscheinungen« stammt von *Listing* selbst. In der zu ihrer Erklärung vorausgeschickten dioptrischen Betrachtung gibt er eine klassische, leicht verständliche geometrische Darstellung der Dioptrik des Auges. *Listing* führt dabei verschiedene, uns jetzt geläufige neue Begriffe und Bezeichnungen ein, so den Begriff der Richtungslinien, der Parallaxe zwischen der scheinbaren Lage der Objekte bei direktem und indirektem Sehen der relativen entoptischen Parallaxe, die Bezeichnung »homozentrisches Licht«. Die von *Donders* in die Praxis eingeführten Maße des vereinfachten schematischen Auges sind gleichfalls schon von *Listing* aufgestellt (s. S. 14).

---

1) *Zu S. 7.* *Listing* gebraucht den Ausdruck »Adaption« stets gleichbedeutend mit Akkommodation; heutzutage versteht man in der Augenheilkunde unter Adaption, oder besser Adaptation des Auges die physiologische Empfindlichkeitsänderung der Netzhaut bei Änderung der Beleuchtung.

2) *Zu S. 12.* Diese geometrisch-objektiven Sehrichtungen sind nicht identisch mit den subjektiven Sehrichtungen des Binokularsehenden, der alle Netzhauteindrücke so lokalisiert, als ob die beiden Augen in ein »imaginäres Zyklopenauge« (*Hering*) in der Nasenwurzel zusammenfielen und die subjektiven Sehrichtungslinien annähernd den auf dieses Zyklopenauge übertragenen geometrischen Richtungslinien entsprechen würden; entsprechendgleichen Punkten beider Netzhäute (»Deckpunkten«) kommt somit eine gemeinsame subjektive Sehrichtung zu.

3) *Zu S. 13.* Nach *Helmholtz* versteht man jetzt unter Visierlinie eine Linie, die durch zwei sich deckende Punkte im Raum geht; der Kreuzungspunkt aller Visierlinien ist der Mittelpunkt des von der Hornhaut entworfenen Bildes der Pupille (d. i. des scheinbaren Ortes der Pupille). Die von *Listing* sogenannten Visierlinien, die verschiedenen möglichen Lagen der Blicklinie, haben heute keinen besonderen Namen mehr, man kann sie Blickfeldradien nennen.

4) *Zu S. 13.* Unter Horopter verstand *Listing* die zur Netzhaut konjugierte Fläche, also die Fläche, deren optisches Bild genau auf die Netzhaut fällt; heutzutage wird unter Horopter die Gesamtheit der Punkte im Raum verstanden, die sich auf korrespondierenden Stellen beider Netzhäute abbilden.



Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.



